

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



**“Evaluación en aplicaciones aéreas de agroquímicos en la
producción de caña de azúcar en Compañía Azucarera
Salvadoreña”**

POR:

Br. Roberto Ibarra Quijada

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE PROTECCION VEGETAL



**“Evaluación en aplicaciones aéreas de agroquímicos en la
producción de caña de azúcar en Compañía Azucarera
Salvadoreña”**

Por:

Br. Roberto Ibarra Quijada

**Presentada como requisito para obtener el título de
Ingeniero Agrónomo
(Agronomía)**

San Salvador, El Salvador, Centro América, 2023

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

M. Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL

M. Sc. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS

DECANO

DR. FRANCISCO LARA ASENCIO

SECRETARIO

ING. AGR. *M. Sc.* BALMORE MARTINEZ SIERRA

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE PROTECCION VEGETAL

ING. *M. Sc.* ANDRES WILFREDO RIVAS FLORES

ASESOR DIRECTO

ING. *M. Sc.* RAFAEL ANTONIO MENJIVAR ROSA

TRIBUNAL CALIFICADOR

ING. *M. Sc.* ANDRES WILFREDO RIVAS FLORES

ING. *M. Sc.* RICARDO ERNESTO GOMEZ ORELLANA

ING. LEOPOLDO SERRANO CERVANTES

COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACION

ING. *M. Sc.* RAFAEL ANTONIO MENJIVAR ROSA

Índice

1. Resumen.....	1
2. Introducción.....	2
3. Información de la unidad productiva.....	3
3.1. Datos Generales.....	3
3.1.1. Localización.....	3
3.1.2. Antecedentes.....	3
3.1.3. Recursos.....	4
3.2. Actividades actuales.....	4
3.2.1. Producción principal y otras.....	5
3.2.2. Situación técnica.....	5
3.2.3. Situación administrativa.....	5
3.2.4. Generales de comercialización.....	5
4. Análisis de la problemática en sector.....	6
5. Metodología.....	6
5.1. Planificación del trabajo.....	6
6. Resultados y discusión.....	9
6.1. Aplicaciones aéreas de agroquímicos.....	9
6.2. Pruebas de evaluación de eficiencia y precisión en aplicación aérea con VANT T10.....	12
6.3. Equipos VANT utilizados para las evaluaciones.....	12
6.4. Condiciones Climáticas (tarjeteos).....	13
6.4.1. Deriva.....	13
6.4.2. Delta T (ΔT).....	14
6.5. Gota.....	16
6.5.1. Clasificación de la gota.....	18

6.6.	Eficiencia de la aplicación	20
6.7.	Coeficiente de variación y Amplitud Relativa	22
6.8.	Amplitud Relativa	24
6.9.	Vida media de la gota	25
6.10.	Propuesta de elección de boquilla	27
6.11.	Orden de mezcla agroquímicos	28
6.12.	Procesos y metodologías para aplicaciones aéreas de agroquímicos .	30
6.12.1.	Proceso logístico para aplicaciones aéreas	30
6.12.2.	Metodología de aplicación aérea	30
6.13.	Materiales y equipos para determinar la calidad de las aplicaciones aéreas.....	31
6.13.1.	Papel pH.....	31
6.13.2.	Tiras de Prueba para Dureza Total.....	31
6.13.3.	Tester de presión.....	32
6.13.4.	Calibrador de descarga	32
6.14.	Evaluación económica entre el uso de VANT, avioneta y helicóptero en aplicaciones aéreas de agroquímicos	32
7.	Conclusiones.....	34
8.	Recomendaciones.....	34
9.	Bibliografía	36
10.	Anexos	40

Índice de cuadros

Cuadro 1.	Curvas de Delta T en relación a Humedad Relativa y Temperatura.....	14
Cuadro 2.	Condiciones climáticas	15
Cuadro 3.	Coberturas promedio	17
Cuadro 4.	Tamaño de gota DV0.5 y clasificación por pulverización	19

Cuadro 5. Eficiencia de la aplicación.....	21
Cuadro 6. Coeficiente de variación relacionado con Amplitud Relativa	22
Cuadro 7. Tamaño de gota mínima y máxima y su diferencia	23
Cuadro 8. Amplitud Relativa.....	24
Cuadro 9. Vida Media de la gota.....	26
Cuadro 10. Resumen de resultados	27
Cuadro 11. Parámetros de calidad buscados por CASSA.....	28
Cuadro 12. Metodología de la jarra desarrollado por CBB	29
Cuadro 13. Costos a considerar por cada aeronave	33

Índice de figuras

Figura 1. Tarjetas hidrosensibles	11
Figura 2. Tendido de tarjetas hidrosensibles	11
Figura 3. Boquillas evaluadas en VANT	12
Figura 4. VANT T10 DJI.....	13
Figura 5. VANT T20 DJI.....	13
Figura 6. Temperatura °C	16
Figura 7. Humedad Relativa %	16
Figura 8. Velocidad del viento Km/h	16
Figura 9. Delta T	16
Figura 10. Cobertura promedio	17
Figura 11. Alcance de penetración dentro del cultivo según tamaño de gota	18
Figura 12. Cobertura al objetivo	18
Figura 13. Tamaño de gota DV0.5 (Clasificación pulverización)	20
Figura 14. Eficiencia de aplicación	21
Figura 15. Coeficiente. de variación y Amplitud Relativa (AR).....	23
Figura 16. Amplitud Relativa	25
Figura 17. Vida Media de Gota	26

1. Resumen

La pasantía profesional se desarrolló en Compañía Azucarera Salvadoreña S.A. de C.V. por un periodo de 6 meses, iniciando el día 18 de abril y finalizando el día 18 de octubre del 2022, donde se cumplió con un plan de trabajo comprendido en 4 fases que consistieron en la identificación de procesos y métodos de aplicaciones aéreas con Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) con el fin de proponer el modelo de mejora en la eficiencia y precisión de la deposición de agroquímicos aplicados vía aérea. Después probar el modelo propuesto y monitorear si responde a mejoras en eficiencia y precisión de la operación y finalmente realizar presentación a nivel de la compañía sobre los resultados obtenidos en base a los conocimientos técnicos adquiridos durante el desarrollo del trabajo.

Las principal actividad desarrollada en la pasantía profesional fue evaluar y validar por medio de la metodología del uso de tarjetas hidrosensibles (tarjeteo) en los VANT, determinándose con cual tipo de configuración de boquillas de aspersion produce buenos parámetros a considerar en aplicaciones aéreas de agroquímicos, desarrollándose bajo un protocolo de pruebas y utilizando el software StainMaster el cual interpreta estadísticamente la deposición de la gota, concluyendo que la boquilla AIXR110015-VS fue la que presentó buenas características en los patrones de calidad de aplicación de agroquímicos en caña de azúcar como la cobertura, tamaño de gota, tiempo de vida de la gota, coeficiente de variación y eficiencia de aplicación.

Todas las actividades desarrolladas fueron supervisadas por el personal técnico del Programa de Aplicaciones Aéreas y Terrestres, dando su aval en el procedimiento y metodologías aplicadas para concluir cada fase previamente planteada y pasar a la siguiente tarea, estableciéndose un vínculo de comunicación efectiva, logrando un desempeño trazable y optimo en el cumplimiento de tareas en los tiempos planificados.

2. Introducción

El sector azucarero en El Salvador es representado por el sector económico y público como una actividad económica relevante dentro de la economía del país (Salaverria. 2016). Por lo que es generadora de empleo y aporta al crecimiento de la economía de manera permanente, teniendo un apoyo relevante dentro de la legislación salvadoreña y en negociaciones que han dado como resultado la firma de tratados comerciales entre El Salvador y otros países del mundo (Mira. 2019).

Por otro lado, en los últimos años, se le ha dado una crítica sistemática frente al cultivo de la caña de azúcar, al atribuírsele responsabilidad en el deterioro medioambiental, incidencia en el cambio climático y en las condiciones de vida de las personas, especialmente de aquellas que laboran en la producción y viven en las zonas de influencia del cultivo. Por lo que es necesario una valoración integral sobre la importancia para el país de la industria azucarera. Más allá de la visión económica que predomina actualmente, es indispensable incorporar en el análisis la perspectiva socio ambiental, precisamente por las amplias implicaciones que tiene para la sociedad salvadoreña (Mira. 2019).

El uso de nuevas tecnologías agrícolas brinda oportunidades para aumentar la productividad, eficiencia y seguridad. Una de las herramientas que ha existido por algún tiempo, pero que en años recientes ha empezado a utilizarse en la agricultura, es el dron. 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 (Pino. 2019).

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 (Acosta & Mendoza. 2017).

Los objetivos y alcances obtenidos durante la pasantía profesional se desarrollaron por medio del uso de metodologías enfocadas en las buenas prácticas agrícolas generando impacto en las aplicaciones aéreas de agroquímicos de manera responsable, garantizando la producción de caña de azúcar en Compañía Azucarera Salvadoreña S.A. de C.V., por medio de la identificación de los patrones de la tecnología de VANT de los cuales serán analizados con el fin de mejorar eficiencia y precisión en las aplicaciones por medio de monitoreos, de tal manera de aplicar los cambios sugeridos con el análisis previo para comprobar si existe mejora de eficiencia y precisión.

3. Información de la unidad productiva

3.1. Datos Generales

Compañía Azucarera Salvadoreña S.A. de C.V. (CASSA), fue fundada en 1964 por el señor Tomás Regalado González y la Señora María Regalado Mathies en el municipio de Izalco Departamento de Sonsonate. La compañía cuenta con los ingenios Central Izalco e Ingenio Chaparrastique, los cuales poseen una molienda de 22 mil toneladas métricas diarias. Se abastece de 34,000 hectáreas cultivadas de caña de azúcar y otra área de cultivo forestal.

3.1.1. Localización

Las oficinas corporativas están ubicadas Edificio corporativo Madreselva segundo nivel, Antiguo Cuscatlán departamento de La libertad y las oficinas de la Dirección Agrícola están Ubicadas en el Kilómetro 62 ½ carretera a Sonsonate Cantón Huiscoyolate, municipio de Izalco Departamento de Sonsonate

3.1.2. Antecedentes

En El Salvador se cultivan 76, 000 hectáreas de las cuales 34,000 hectáreas tiene influencia CASSA, representando el 45 % de la caña cultivada en el país. El cultivo aporta al PIB el 2.7 % y el 12 % del PIB Agropecuario, según datos publicados por la Asociación Azucarera Salvadoreña (Azúcar de El Salvador, 2016). Genera 50,000 empleos directos y 200,000 indirectos aportando valor a la economía salvadoreña.

3.1.3. Recursos

CASSA cuenta con un capital humano cerca de las 5,000 personas, enfocando el valor principal de la compañía en sus colaboradores, cuenta con la infraestructura de dos ingenios azucareros ubicados en Sonsonate y San Miguel.

3.1.3.1. Naturales

CASSA posee dentro de sus áreas de mitigación a los efectos del cambio climático cerca de 2,000 hectáreas de cultivos forestales, además apoya a proyectos de conservación de la fauna y flora local en varios municipios del país. CASSA es parte del Instituto Privado de Investigación sobre el Cambio Climático (ICC) generando aportes importantes a el modelo de producción sostenible y certificado bajo los estándares internacionales como BONSUCRO, ISO, FAIR TRADE y KOSHER.

3.1.3.2. Instalaciones y equipos

CASSA por parte de la Dirección Agrícola cuenta con recursos propios para la producción de caña de azúcar integrada por diferentes áreas como administración y finanzas, operación y control de procesos, Transferencia de Tecnología, Producción Agrícola, Investigación Agrícola, Cosecha y el Área de Servicios Agrícolas en la cual está integrado el Programa de Aplicaciones Aéreas y Terrestres.

3.1.3.3. Humanos

En la Dirección Agrícola de CASSA laboran cerca de las 650 personas durante la zafra de caña, periodo denominado la cosecha entre los meses de noviembre a abril del siguiente año.

3.2. Actividades actuales

CASSA se dedica a la producción de azúcar, melaza y energía y su comercialización en el mercados preferenciales y mercado interno.

3.2.1. Producción principal y otras

CASSA se dedica a la producción de azúcar cruda, azúcar refino, melaza y a la cogeneración de electricidad para inyectarla a la red de abastecimiento de energía. Adicionalmente, forma parte del consorcio ALMAPAC, dedicado al almacenamiento y logística portuaria, ubicada en el municipio de Acajutla.

3.2.2. Situación técnica

CASSA, a través de la Dirección Agrícola, está generando cambios en la manera de producir caña de manera sostenible con el ambiente y en armonía de las comunidades locales, siendo el grupo azucarero que más cosecha mecanizada desarrolla en el país y la reducción significativa de carga química por hectárea por año, según lo exige el estándar BONSUCRO, que es una Asociación de Productores de caña de azúcar y Procesadores en Cadena, cuyo objetivo es asegurar un futuro sostenible en la producción de caña de azúcar. Lo anterior, se traduce en menos uso de agroquímicos que se depositan en el ambiente.

3.2.3. Situación administrativa

La administración de las actividades agrícola está guiada por el director Agrícola y es este que genera los lineamientos técnicos que se desarrollaran durante cada quinquenio ajustándose anualmente según sea el contexto que se desarrolle. Es aquí en donde se generó el lineamiento de la búsqueda de eficiencia operativa de los VANT para las aplicaciones aéreas en las áreas de influencia de la compañía.

3.2.4. Generales de comercialización

CASSA vende el azúcar a mercados locales a través de la Distribuidora de Azúcar y Derivados, S.A. de C.V. (DIZUCAR), quien es la encargada de abastecer y comercializar el azúcar que se produce en El Salvador de manera equitativa, el mercado internacional y preferencial es coordinado por la Dirección de Comercialización quien coloca el azúcar y melaza según las ventajas económicas de los mercados.

4. Análisis de la problemática en sector

Los Vehículos Aéreos No Tripulados, es tecnología reciente y su uso debe estar amparado en conocimiento técnico y científico para obtener los mejores desempeños posibles con esta innovación agrícola. En El Salvador se regula las aplicaciones aéreas bajo el acuerdo ejecutivo N° 423 emitido por el Ministerio de Agricultura y Ganadería en el año 2011 (MAG. 2011), para ese entonces no estaba considerada esta aeronave en dicho reglamento, entonces los VANT deben de estar considerados para así tener una base legal de lo que son las aplicaciones aéreas de agroquímicos con este tipo de aeronave.

El cultivo de caña de azúcar genera oportunidades importantes en la innovación de los procesos productivos, haciéndolos más sostenibles, respetuosos del ambiente y a las comunidades circundantes a las áreas de cultivo. Es por ello que se propone evaluar y diseñar una metodología que garantice un resultado deseable en el uso de los VANT para las aplicaciones aéreas de agroquímicos, generando un menor impacto en la contaminación ocasionadas por la deriva.

La oportunidad de poder evaluar estas aeronaves, abrirá nuevos campos del proceso productivo con datos puros y repetibles que garanticen la generación de conocimiento científico sobre aplicaciones aéreas de agroquímicos en caña de azúcar con VANT en El Salvador. Además, que abre las puertas en compañías líderes de sector agrícola, mostrando la capacidad y compromiso de los estudiantes de la Universidad de El Salvador en la generación de una nueva agricultura.

5. Metodología

Las funciones a desarrollar dentro de la empresa fueron bajo la Dirección Agrícola, área de Servicios Agrícolas en el Programa de Aplicaciones Aéreas y Terrestres, apoyando a las actividades de mejora continua de las aplicaciones aéreas de agroquímicos con VANT

5.1. Planificación del trabajo

Se desarrollo mediante un plan de trabajo dividido en 4 fases que se detallan a continuación:

5.1.1. Identificación de procesos y métodos de aplicaciones aéreas con VANT.

Se realizó el reconocimiento de procesos y métodos en base a salidas de campo durante las actividades de aplicaciones aéreas de agroquímicos, a la vez complementado con lectura de manuales técnicos de interés y ayudado por el personal técnico del área de aplicaciones aéreas de la compañía para conocer los procesos administrativos y logísticos para el desarrollo de aplicaciones aéreas de agroquímicos.

5.1.2. Propuesta de un modelo de mejora en la eficiencia y precisión de las aplicaciones aéreas con VANT.

Se buscó establecer el modelo de mejora por medio del reconocimiento de procesos y métodos de aplicaciones aéreas con VANT, la cual consistió en la elección de otros tipos de configuración de boquillas para ser evaluadas, estableciendo un protocolo de pruebas (Anexo 1) en donde estuvo la metodología y parámetros de configuración de los equipos VANT para ser evaluados en campo.

5.1.3. Pruebas del modelo propuesto y monitorear para determinar si responde a mejoras en eficiencia y precisión de la operación.

Se realizaron pruebas de evaluación de presión (Bar o PSI) y caudales (L/min) a los VANT T10 y T 20 DJI, y únicamente con el VANT T10 se desarrollaron las evaluaciones de tarjetos en campo, siguiendo el protocolo de pruebas establecido. Luego se procesaron las tarjetas con el software lector de tarjetas hidrosensibles StainMaster®. Posteriormente se analizaron los resultados en base a información técnica para concluir sobre cual tipo de boquilla presentan mejores resultados, relacionado con la configuración de VANT evaluada para establecer mejoras en la eficiencia y precisión de la aplicación aérea de agroquímicos en caña de azúcar.

5.1.3.1. Pruebas de evaluación

Las evaluaciones se realizaron en coordinación con la empresa prestadora de servicio de aplicaciones aéreas de agroquímicos con VANT, teniendo 2 etapas, campo y de escritorio.

Etapa de campo

Se desarrollaron las pruebas de evaluación en coordinación de la empresa prestadora de servicio de aplicaciones aéreas con VANT, estableciendo un polígono de prueba en un terreno plano y sin obstáculos ideal para este tipo de pruebas, en las cuales su procedimiento fue (Anexo 1):

1º Evaluación:

Objetivo: Comprobar la presión de descarga con cada tipo de boquilla.

La prueba consistió en colocar medidor de presión de descarga en las boquillas del VANT de manera aleatoria para determinar la presión de descarga del equipo en psi con cada una de las diferentes configuraciones de boquillas a evaluar.

2º Evaluación:

Objetivo: Comprobar el caudal de descarga de los VANT.

Se coloca el medidor de descarga en el acople de las boquillas del VANT, repitiendo esta prueba 4 veces por cada aeronave, para determinar el caudal promedio en litros por minuto que descarga el equipo.

3º Evaluación:

Objetivo: Determinar la calidad de la aplicación con cada configuración de boquillas.

Se realizaron 4 pases con el VANT para identificar el pecho de la aeronave y marcarlos para determinar la colocación del tendido de tarjetas hidrosensibles. Entonces, con el uso de tarjetas hidrosensibles (Teejet 52x76 mm) colocadas a 1 metro de separación sobre un tendido de 25 metros de largo y altura 0.50 metros sobre el suelo. Para luego ser escaneadas y procesadas con el software StainMaster® y obtener información necesaria para el análisis de resultados. Además de tomar en cuenta las condiciones climáticas con el medidor de parámetros climáticos Kestrel 5500AG.

Etapa de escritorio

Haciendo uso del software StainMaster®, lector de tarjetas hidrosensibles, se procesaron las tarjetas que se colocaron en el tendido, obteniendo los datos de los diferentes parámetros a evaluar, como el patrón de deposición (uniformidad CV), cobertura (g/cm²), promedio de cobertura, cobertura máxima, volumen de recuperación (L/Ha), eficiencia de la aplicación, tamaño de gota, diámetro medio, amplitud relativa relacionado a DV0.1, DV0.9 y DV0.5, para posterior análisis según criterio técnico sobre aplicaciones aéreas de agroquímicos con VANT.

5.1.4. Presentación de los resultados obtenidos.

Se realizó la presentación a nivel de la compañía a personal técnico de Investigación Agrícola y de Aplicaciones Aéreas y Terrestres de CASSA sobre los resultados obtenidos en base a los conocimientos técnicos adquiridos durante el desarrollo del trabajo.

6. Resultados y discusión

La información y conocimientos obtenidos dentro de Compañía Azucarera Salvadoreña ha sido la ganancia de criterio técnico sobre las aplicaciones de agroquímicos en general en base a la observación, análisis, lectura, apoyo de personal técnico y experiencia desarrollada durante el periodo del trabajo profesional.

6.1. Aplicaciones aéreas de agroquímicos

Las aplicaciones aéreas realizadas en caña de azúcar es un proceso complejo para ser llevadas a cabo en campo por la logística y coordinación necesaria. Por otro lado, es una actividad agrícola que tiene un papel fundamental en el aumento de la productividad de un cultivo, debido a su capacidad de trabajo y cobertura eficiente, en la distribución de los productos. Cabe destacar que la aplicación agrícola por vía aérea es una herramienta importante en la agricultura cuando se realiza dentro de los parámetros y criterios técnicos establecidos con un acompañamiento de personal técnico especializado.

Las aplicaciones aéreas tienen un papel importante en la obtención de buenos rendimientos en las cosechas, destacando las ventajas en los siguientes términos:

- Permiten hacer la aplicación sin generar problemas de compactación del suelo.
- Se disminuye el uso en el volumen de agua.
- Abarcan grandes extensiones en forma rápida, dependiendo del tipo de la aeronave empleada (avión, helicóptero, VANT), de la ubicación y la forma del terreno.
- Se pueden efectuar en terrenos con obstáculos que impiden la aplicación terrestre como zanjas o cercas.
- El control químico puede realizarse de manera más rápida y oportuna.

La aplicación aérea se ha vuelto mucho más precisa en los últimos años ya que las aeronaves agrícolas de hoy en día utilizan sofisticados equipos de aplicación de precisión como GPS (sistemas de posicionamiento global), GIS (sistemas de información geográfica), sistemas meteorológicos en tiempo real, válvulas de control de flujo de velocidad variable, válvulas de cierre de pluma, etc. El uso de nuevas tecnologías en las aplicaciones se da en beneficio de tener mayor eficiencia y precisión en el desarrollo de esta actividad (Morata *et al.* 2010).

Por lo tanto, para obtener buena calidad en las aplicaciones de agroquímicos, Leiva (2010) menciona, que la calidad de aplicación está en relación a la cantidad de principio activo depositado sobre el blanco con una determinada cobertura y persistencia del producto en una forma absorbible sobre la superficie del objetivo (Anexo 2).

Entonces, para evaluar la eficiencia de una aplicación fitosanitario, el uso de tarjetas hidrosensibles es un recurso que actualmente, por disponibilidad y costos, resulta práctico, relativamente rápido y confiable.

Las tarjetas hidrosensibles (Figura 1) tienen la característica de marcar la gota aplicada por cualquier equipo pulverizador, para proporcionar información sobre tamaño de gota, cobertura, patrón de deposición, coeficiente de variación de la aplicación, amplitud relativa, eficiencia de la aplicación y tiempo de vida de la gota.



Figura 1. Tarjetas hidrosensibles

Los tarjeteos consisten en hacer un tendido en el que se colocan las tarjetas hidrosensibles (Figura 2) dependiendo del equipo al que se le quiere evaluar la aplicación, si es VANT se colocan las tarjetas con una separación de 1 metro entre cada una y si es helicóptero o avioneta a separación de 2 metros. La altura del tendido puede variar dependiendo del crecimiento que tenga el cultivo al momento de la aplicación. La aeronave sobrevuela el tendido realizando la marcación de las tarjetas para posteriormente ser procesadas por el software StainMaster y analizadas.



Figura 2. Tendido de tarjetas hidrosensibles

6.2. Pruebas de evaluación de eficiencia y precisión en aplicación aérea con VANT T10

Las pruebas de evaluación consistieron en cambiar la configuración de vuelo y tipo de boquilla. En un principio se evaluarían nueve diferentes tipos de boquillas (Figura 3), de las cuales únicamente seis de ellas se lograron evaluar (AIXR110015, DG110015, XR11002, AITX80015, TXVK-6 Y QJ90-2XTT110015), ya que las boquillas TTI11003 y AI3070-015 necesitan mayor presión para desarrollar la pulverización y la boquilla AIC110015 no encajo en el acople de las boquillas de la aeronave. Las evaluaciones se desarrollaron bajo un protocolo en el cual se redactó la metodología para las pruebas, información sobre las características de las boquillas, parámetros de configuración del equipo VANT y condiciones climáticas necesarias para las pruebas el cual son las misma utilizadas en aplicaciones aéreas de agroquímicos.



Figura 3. Boquillas evaluadas en VANT

6.3. Equipos VANT utilizados para las evaluaciones

Los equipos VANT evaluados fueron el modelo T10 y T20, ambos de la marca DJI. El VANT T10 (Figura 4) tiene un tanque de 10 litros, utiliza cuatro boquillas y el ancho de faja de aplicación de cinco metros de ancho. El equipo VANT T20 (Figura 5) utiliza ocho boquillas, tanque de veinte litros y ancho de faja de aplicación de seis metros de ancho.



Figura 4. VANT T10 DJI



Figura 5. VANT T20 DJI

6.4. Condiciones Climáticas (tarjeteos)

Durante las aplicaciones de agroquímicos es necesario considerar que las condiciones climáticas sean las óptimas para que los factores de deposición de la gota, cobertura, tiempo de vida media de la gota, etc. sean los adecuados para que el producto aplicado cumpla su función fitosanitaria. Los parámetros climáticos a considerar son, humedad relativa 65%- 85%, temperatura 24°C-32°C, velocidad del viento 0-8 Km/h (CASAFE. 2022), delta T (ΔT) de 4-6 (Carrancio & Massarro. 2018), además de evitar la inversión térmica en las aplicaciones. Estos parámetros se obtienen con el uso de medidores de clima en tiempo real como el kestrel 5500AG

6.4.1. Deriva

El proceso de transporte de productos agroquímicos es un proceso bastante complejo e implica procesos de pérdida continuos, debido a la volatilización y deriva en la actividad agrícola ya que estos dos términos están ligados, confirmado por la observación y pruebas de calidad de aplicaciones en campo.

La deriva es definida como el movimiento del producto en el aire durante y después de la aplicación, dentro y fuera del lugar de aplicación, sin implicar necesariamente cambios de estado (Villalba & Hetz. 2010).

Existen dos tipos de deriva, una de ellas es la exoderiva el cual es el movimiento del producto aplicado que se dirige completamente fuera del lugar de la aplicación y en la endoderiva el producto aplicado queda dentro del lugar de la aplicación, no alcanza a impactar a su objetivo y cae sobre el suelo, provocando que las partículas del suelo lo

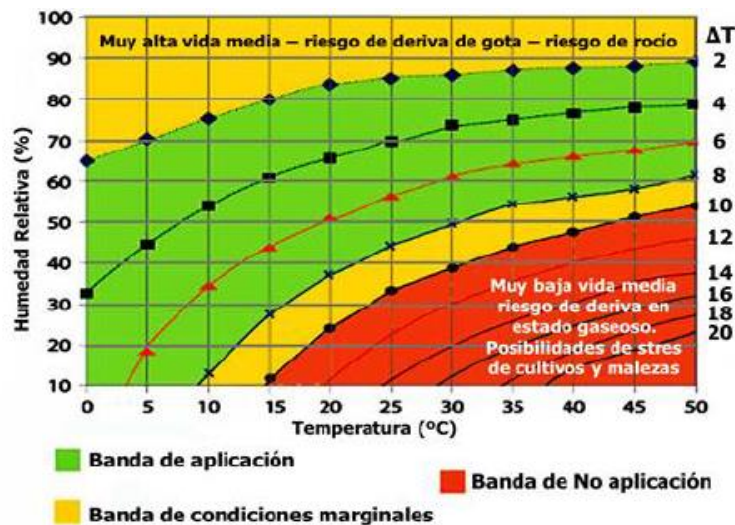
absorban, lo cual puede fomentar el deterioro del mismo, como también contaminación en mantos acuíferos subterráneos (Merani *et al.* 2019).

6.4.2. Delta T (ΔT)

Este indicador es un estimador confiable y eficiente de la cantidad de vapor que la atmósfera puede absorber a una temperatura dada. Desde el punto de vista agronómico, y específicamente de la deriva, está directamente ligado al potencial de evaporación del agua de la gota pulverizada. Otro aspecto importante es la relación existente con el estrés vegetal y éste con la penetración de plaguicidas que actúan con diferentes grados de sistema (Carrancio & Massarro. 2018).

En la práctica el valor de Delta T se puede obtener a partir de datos locales de temperatura y humedad relativa mediante una Tabla Psicrométrica, gráfico de curvas de ΔT (Cuadro 1) o por lectura directa en aparatos meteorológicos específicos que lo calculan instantáneamente.

Cuadro 1. Curvas de Delta T en relación a Humedad Relativa y Temperatura



Fuente: Carrancio & Massarro. 2018

Los valores de ΔT recomendables para las aplicaciones de agroquímicos deben de estar entre 2 – 4. Valores menores a 2 de ΔT prolongan la vida media de las gotas en estado líquido, lo que puede aumentar el riesgo de deriva de la pulverización a mayor distancia

antes que se evapore la gota con el producto agroquímico. También, con valores próximos a 0, hay riesgo de rocío.

Valores elevados de ΔT , superiores a 8, indican altas tasas de evaporación y una baja supervivencia o vida media de las gotas, causando dispersión de vapor o aumentando la flotabilidad de las mismas por disminución del diámetro. En estas situaciones se puede obtener alta probabilidad que, durante la aplicación, tanto en cultivos como en malezas presenten estrés hídrico.

Las condiciones ambientales durante las evaluaciones fueron las óptimas en la mayoría de las pruebas (Cuadro 2), (Figura 6, 7, 8 y 9), a excepción del parámetro de temperatura el cual debe de permanecer entre el rango 24 – 32°C, en el cual al momento de realizar la prueba con la boquilla AIXR110015 (Figura 4), llego hasta un valor de 32.4 °C, siendo este un valor al límite de lo recomendado.

Cuadro 2. Condiciones climáticas

Boquillas	Temperatura (°C)	Humedad Rel. (%)	Vel. viento (Km/h)	Delta T
AIXR110015	32.4	69	1.6	5
DG110015	28.3	81.3	6.5	2.6
AITX80015	28.6	80.4	5.2	2.1
TXVk-6	27.3	78.5	4.7	3
QJ90-2xtt110015	27.2	78.1	3	3.1
XR11002	27	77.4	2.5	3.2

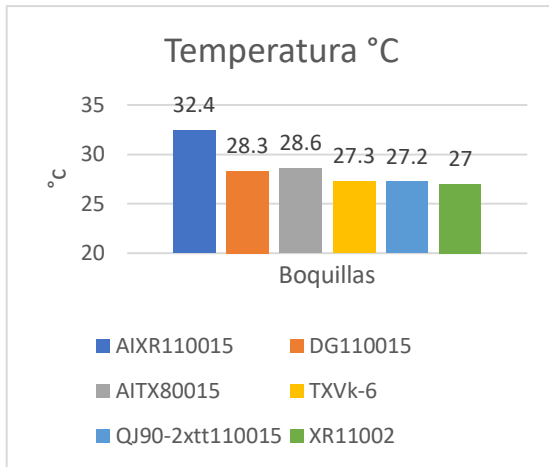


Figura 6. Temperatura °C

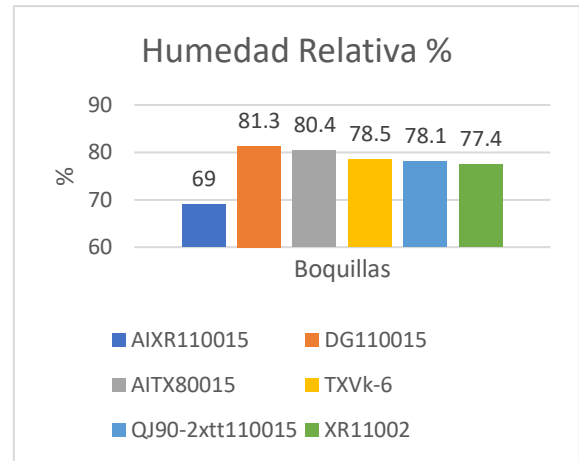


Figura 7. Humedad Relativa %

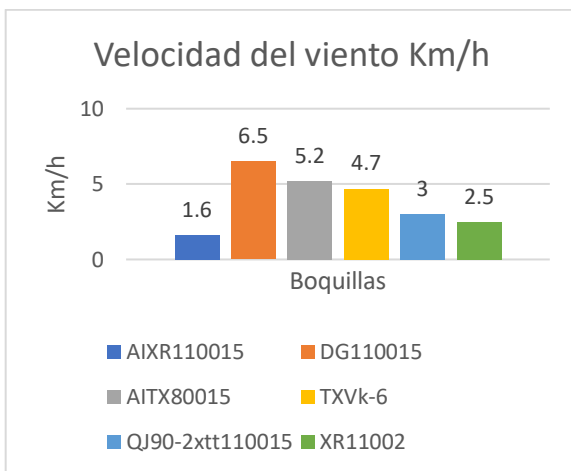


Figura 8. Velocidad del viento Km/h

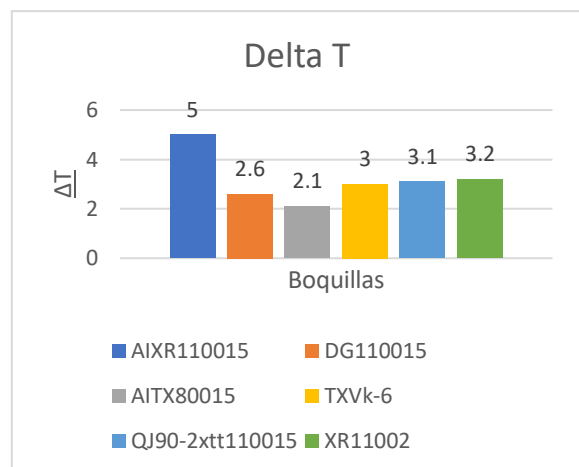


Figura 9. Delta T

6.5. Gota

Las gotas constituyen el vehículo más común para llevar la sustancia activa diluida en un líquido hasta el objetivo deseado. De ahí que sea de gran importancia conocer las técnicas que pueden utilizarse para la subdivisión de los líquidos en gotas, proceso conocido como pulverización (Castillo. 2010).

Para la formación de la gota es necesario utilizar las pulverizaciones, y consisten en diluir, suspender o emulsionar un principio activo en un líquido, que es normalmente agua para la formación de la mezcla o también llamado caldo, el cual es forzado a trasladarse en un circuito bajo una cierta presión antes de ser expulsado sobre un orificio que será la boquilla, dirigiendo el producto hacia el objetivo.

La FAO (1976) menciona la cobertura en gotas/cm² recomendada según el tipo de agroquímico a utilizar para lograr un buen control (Anexo 3). La boquilla con mayor cobertura es la TXVK-6 teniendo un resultado de 72.95 g/cm² ideal para fertilizantes foliares e insecticida y herbicidas de contacto por tener una considerable cantidad de gotas/cm², y la que presenta menor cobertura fue la QJ90-2xtt110015 con un promedio de 7.12 g/cm² (Cuadro 3; Figura 10), el cual no entra en los parámetros de clasificación para ser utilizado con productos sistémicos ni de contacto.

Cuadro 3. Coberturas promedio

Boquilla	Cobertura promedio (g/cm ²)
AIXR110015	13.54
DG110015	26.33
AITX80015	13.31
TXVv-6	72.95
QJ90-2xtt110015	7.12
XR11002	27.77

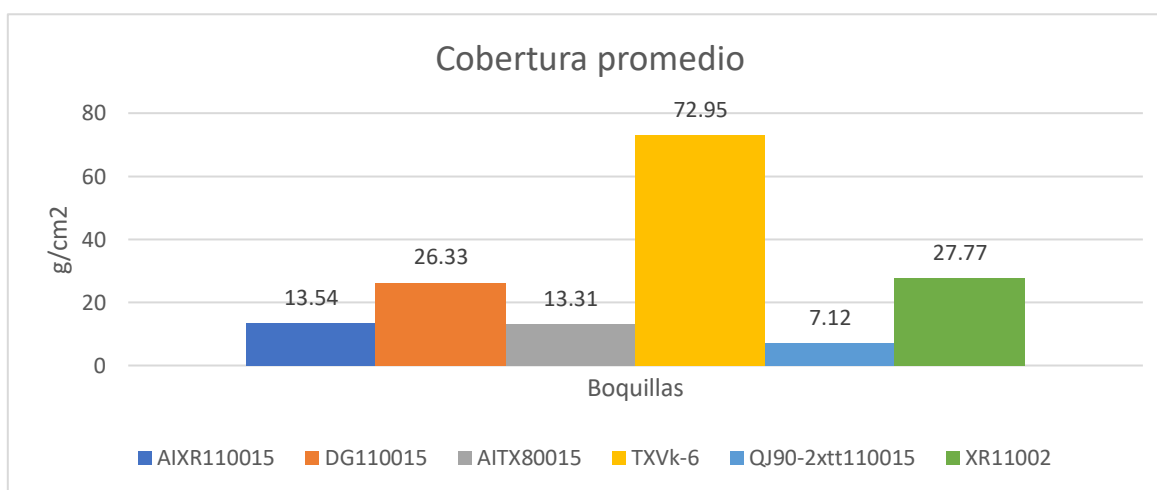


Figura 10. Cobertura promedio

6.5.1. Clasificación de la gota

Según la Norma S572 de la ASABE (s.f) y Hofman & Wilson (2003) han clasificado los tamaños de las gotas según el Diámetro Medio Volumétrico (Anexo 4). El tamaño de la gota tendrá la influencia sobre hasta que parte de la planta podrá llegar, estableciendo tres estratos en la planta, superior, medio e inferior (Figura 11) y cobertura hacia el mismo (Figura 12), estableciendo que las gotas grandes llegarán a la parte superior de la planta, gotas de tamaño medio a la parte media de la planta y gotas pequeñas logran penetrar hasta la parte inferior.

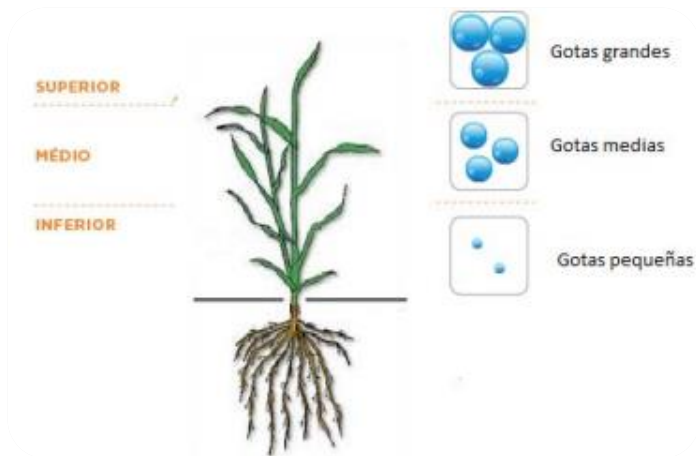


Figura 11. Alcance de penetración dentro del cultivo según tamaño de gota

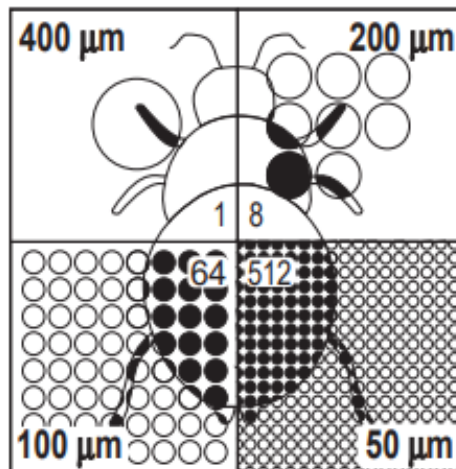


Figura 12. Cobertura al objetivo

La clasificación de las gotas de acuerdo a la pulverización es, según la Norma S572 y Hofman y Wilson (2003) menciona si el DV0.5 (Diámetro Medio Volumétrico) de la gota es menor a 182 micrones (μm) se clasifica como Muy Fina, 183 – 280 μm Fina, 281 – 429 μm Mediana, 430 – 531 μm Gruesa, 532 – 655 μm Muy Gruesa y de mayor a 655 μm es Extremadamente Gruesa. Por lo tanto, la boquilla AIXR110015 con 350.82 μm se clasifica como Mediana, DG110015 con 266.97 μm como Fina, AITX110015 con 235.56 μm como Fina, TXVK-6 con 178.8 μm como Muy Fina, QJ90-2xtt110015 con 216.77 μm como Fina y la XR11002 con 242.86 μm como Fina (Cuadro 4; Figura 13).

Cuadro 4. Tamaño de gota DV0.5 y clasificación por pulverización

Boquilla	Tamaño gota DV0.5(μm)	Clasificación de gota
AIXR110015	350.82	Mediana
DG110015	266.97	Fina
AITX80015	235.36	Fina
TXVk-6	178.8	Muy fina
QJ90- 2xtt110015	216.77	Fina
XR11002	242.86	Fina

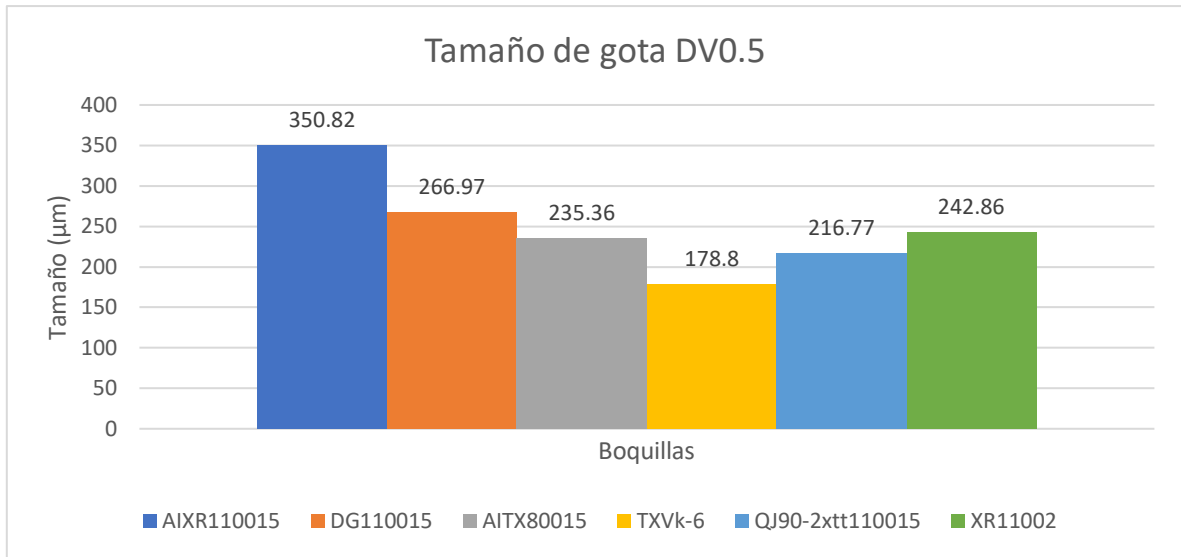


Figura 13. Tamaño de gota DV0.5 (Clasificación pulverización)

6.6. Eficiencia de la aplicación

La eficiencia de aplicación está relacionada de acuerdo al volumen de producto recuperado que logra llegar al cultivo, es decir, la cantidad de gotas con un tamaño y volumen, el cual establece la cantidad de litros por hectárea que se aplicó, comparados con lo configurado que aplica el equipo T10, siendo este de 10 L/Ha. El resultado eficiencia de la aplicación es dado por las tarjetas hidrosensibles ya procesada con el software StainMaster.

La boquilla que presenta mejor eficiencia para aplicaciones aéreas es la AIXR110015 dando un resultado de 74.43%, mientras que la boquilla QJ90-2xtt110015 da un bajo resultado, de tan solo 25.94% de eficiencia, tomando en cuenta lo configurado en el VANT que son 10 L/Ha, entonces daría 7.44 L/Ha y 2.59 L/Ha respectivamente. Además, con la boquilla AITX80015 da una eficiencia de aplicación de 103.46%, lo cual nos indica que se aplica más cantidad de líquido de lo configurado, por lo tanto, se genera pérdida de eficiencia (Cuadro 5), (Figura 14).

Cuadro 5. Eficiencia de la aplicación

Boquilla	Eficiencia de aplicación (%)
AIXR110015	74.43
DG110015	55.05
AITX80015	103.46
TXVk-6	54.83
QJ90-2xtt110015	25.94
XR11002	45.06

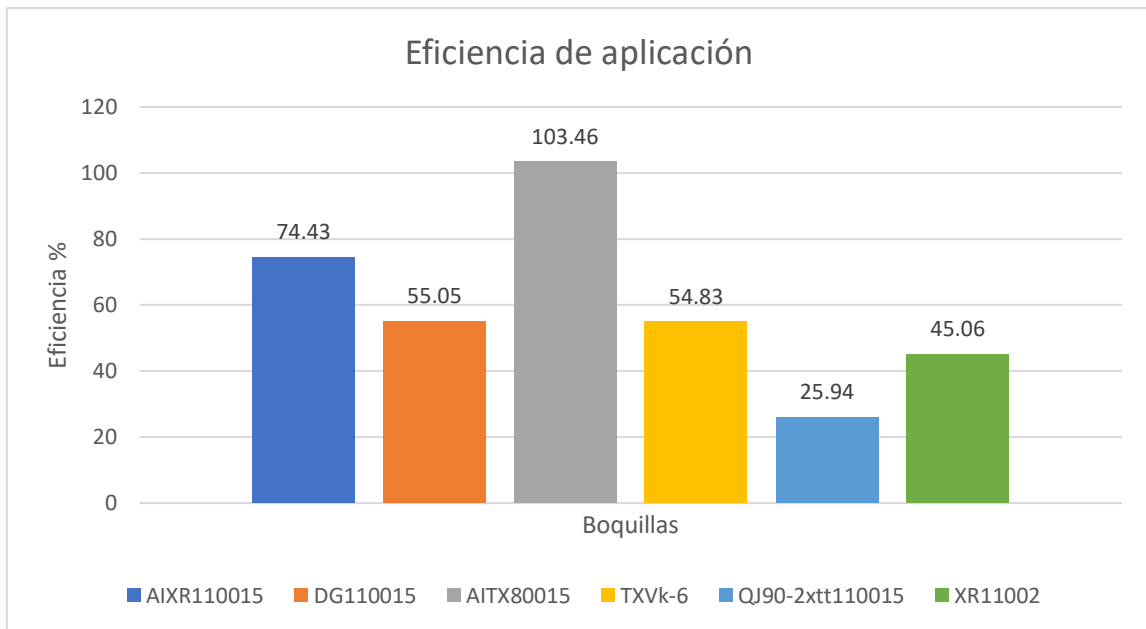


Figura 14. Eficiencia de aplicación

6.7. Coeficiente de variación y Amplitud Relativa

Según el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (2014) la amplitud relativa dado por la formula $(DV-0.9 - DV-0.1) / DV-0.5$, es un indicador del grado de homogeneidad en el tamaño de las gotas en una pulverización, cuanto menor sea la amplitud relativa implica que el tamaño de las gotas es más uniforme, siendo estos valores 0.80 a 1.20 los aceptables, es decir, establece el factor de que tan amplio es el intervalo entre los tamaños de las gotas. Mientras que, el coeficiente de variación indica el valor de grado de homogeneidad en relación a los tamaños de las gotas, desde la mínima a la máxima, siendo el valor recomendado $< 30\%$ en aplicaciones aéreas de agroquímicos.

Las boquillas dieron el resultado más cercano dentro de los parámetros de coeficiente de variación y amplitud relativa son AIXR110015, DG110015, TXVK-6, y XR110015 (Cuadro 6; Figura 15). La boquilla DG110015 es la que mejor representa los parámetros de coeficiente de variación y amplitud relativa, 41.31% y 1.03 respectivamente, indicando que, no hay demasiada variación entre los tamaños de gotas, ni un valor de amplitud tan amplio entre las gotas, logrando establecer un aceptable grado de homogeneidad. Mientras que, la que no da resultados dentro de los parámetros es la es la AITX80015 con 81.17% de CV ya que su tamaño entre la gota mínima y máxima es de 648.35 μm (Cuadro 7) siendo este muy amplio por lo cual da un valor de 0.33 de amplitud relativa demasiado alejado de los parámetros aceptables.

Cuadro 6. Coeficiente de variación relacionado con Amplitud Relativa

Boquilla	Coef. de variabilidad (%)	Amplitud relativa
AIXR110015	47.44	1.05
DG110015	41.31	1.03
AITX80015	81.17	0.33
TXVk-6	58.14	0.87
QJ90-2xtt110015	70.48	0.76
XR11002	55.79	1.23

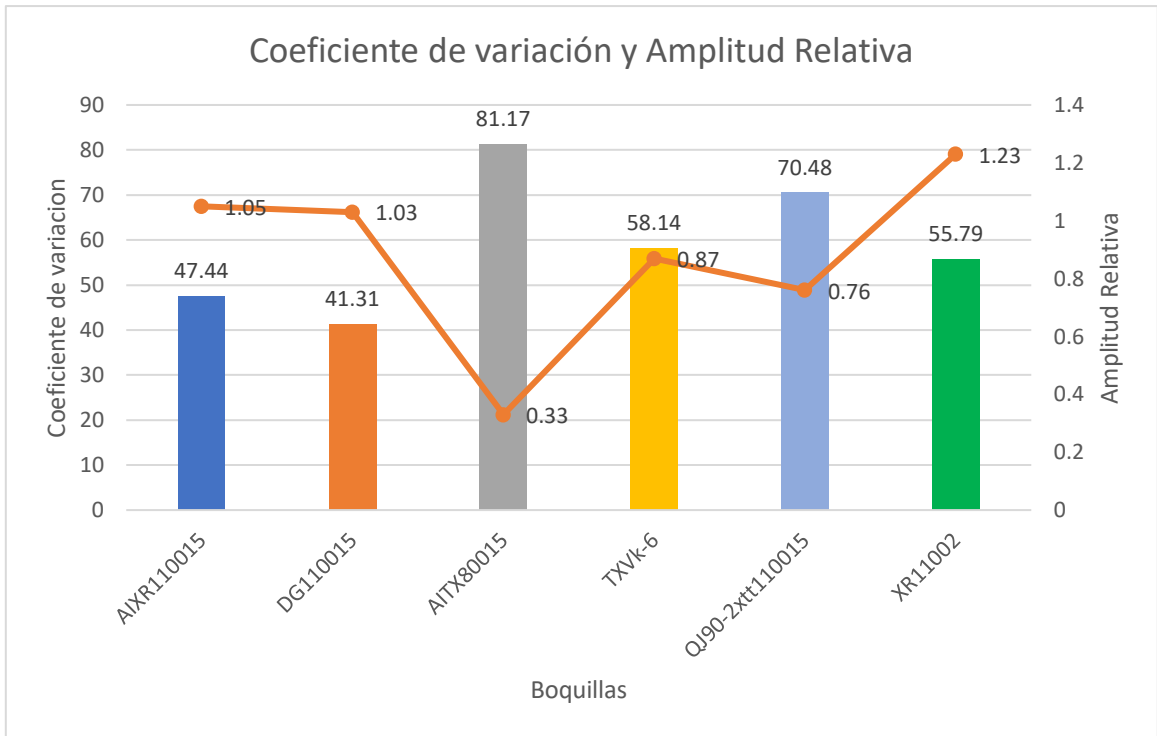


Figura 15. Coeficiente. de variación y Amplitud Relativa (AR)

Cuadro 7. Tamaño de gota mínima y máxima y su diferencia

Boquilla	Tamaño gota mínima (μm)	Tamaño gota máxima (μm)	Diferencia de tamaños en gotas (mínima y máxima)
AIXR110015	109.89	384.27	274.38
DG110015	110.22	200.83	90.61
AITX80015	32.02	680.35	648.33
TXVk-6	92.73	128.24	35.51
QJ90-2xtt110015	35.28	418.37	383.09
XR11002	81.97	220.24	138.27

6.8. Amplitud Relativa

La amplitud relativa es representada en base a DV-0.1, DV-0.5 y DV-0.9. El valor DV0.5 es igual al diámetro medio volumétrico, que es el valor que indica que la mitad del volumen aplicado está en gotas más pequeñas que ese diámetro, y que la otra mitad del volumen está dispersado en gotas con tamaño arriba de ese valor. El DV0.1 indica que hay un 10% del volumen asperjado por gotas de tamaño menor a ese valor y el DV0.9 dice que el 90% del volumen aplicado en gotas de tamaño son menores a ese valor (Cuadro 8).

Cuadro 8. Amplitud Relativa

Boquilla	Amplitud relativa	DV0.1	DV0.5	DV0.9
AIXR110015	1.05	281.4	517.4	807.4
DG110015	1.03	203.4	385	590.2
AITX80015	0.33	342.8	484.09	507.32
TXVk-6	0.87	108.6	181.8	267.4
QJ90-2xtt110015	0.76	352.9	672.1	861.7
XR11002	1.23	184.6	349.8	610.2

Tomando de referencia los datos de DV0.1, DV0.5 y DV0.9 de la AIXR110015 el grafico de amplitud relativa estaría representado de esta forma (Figura 16):

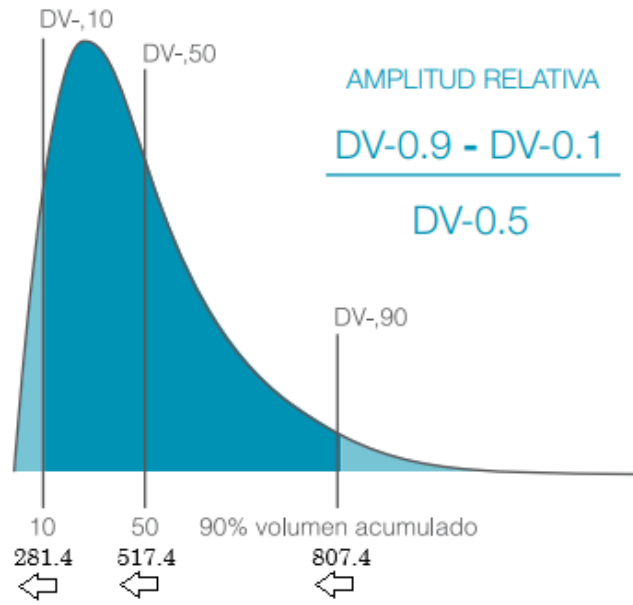


Figura 16. Amplitud Relativa

El DV0.1 es de 281.4 μm por lo tanto indica que el 10% de volumen expulsado es por gotas menor a ese valor, con el DV0.9 es 807.4 μm lo que significa que el 90% del volumen expulsado son gotas menores a ese valor y el DV0.5 es 517.4 μm indica que la mitad del volumen expulsado son gotas más pequeñas que ese tamaño.

6.9. Vida media de la gota

La vida media de las gotas es en relación al diámetro de la gota y el Delta T según lo mencionado por Teixeira (2010), además, estableció la fórmula para obtener el dato de tiempo en segundos, aclarando que a mayor temperatura y a menor humedad relativa el proceso se acelera (INTA. 2014). La boquilla que presento el mayor tiempo de vida medio de gota fue la AITX por la razón que tiene 175.63 micrones de Diámetro medio y Delta T 2.1, favoreciendo este último por la relación de humedad relativa y temperatura al momento de las pruebas, dando un total de 183.6 segundos de vida (Cuadro 9; Figura 17).

Cuadro 9. Vida Media de la gota

Boquilla	ΔT	Diámetro de la gota	Vida Media (seg) $v = \frac{d^2}{80 \cdot \Delta T}$
AIXR110015	5	216.65	117.34
DG110015	2.6	156.61	117.92
AITX80015	2.1	175.63	183.61
TXVk-6	3	109.70	50.14
QJ90-2xtt110015	3.1	165.73	110.75
XR11002	3.2	142.89	79.76

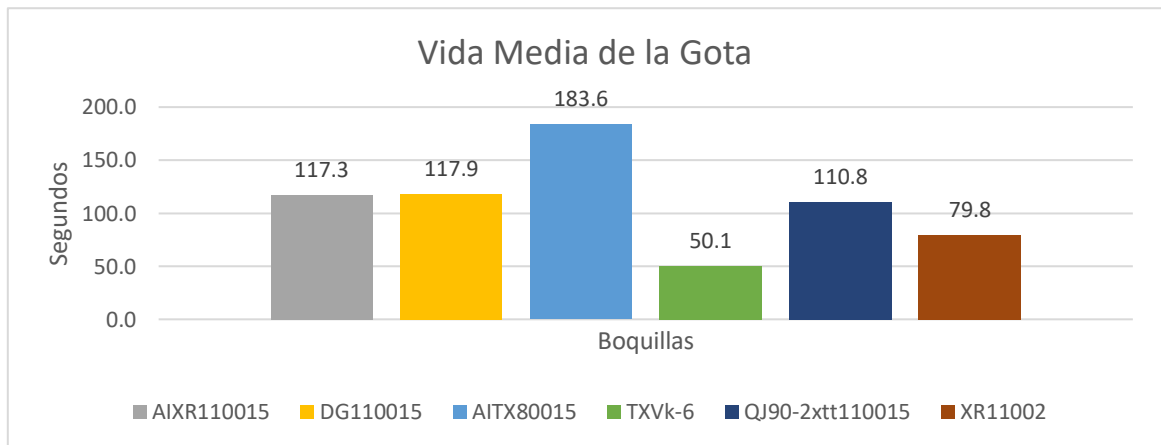


Figura 17. Vida Media de Gota

Cuadro 10. Resumen de resultados

Boquilla	DV0.5	Tamaño gota promedio (μm)	Cobertura promedio (g/cm^2)	Tiempo de vida media	Eficiencia de aplicación (%)	Coef. de variabilidad (%)	Amplitud relativa
AIXR110015	517.4	216.65	13.54	117.34	74.43	47.44	1.05
DG110015	385	156.61	26.33	117.92	55.05	41.31	1.03
AITX80015	484.09	175.63	13.31	183.61	103.46	81.17	0.33
TXVk-6	181.8	109.7	72.95	50.14	54.83	58.14	0.87
QJ90-2xtt110015	672.1	165.73	7.12	110.75	25.94	70.48	0.76
XR11002	349.8	142.89	27.77	79.76	45.06	55.79	1.23

6.10. Propuesta de elección de boquilla

Con base a los resultados obtenidos (Cuadro 10) y parámetros de calidad buscados (Cuadro 11) se propone a la boquilla AIXR110015 debido a que produce gotas con un DV0.5 de 350.82 micrones, clasificándola como gota Mediana el cual tiene bajo potencial de deriva debido a su tamaño con un promedio de 216.65 micrones, con una cobertura de 13.54 g/cm^2 en promedio, además, en las pruebas se obtuvo una eficiencia de aplicación del 74.43%, valor que es bastante aceptable para una aplicación aérea sin coadyuvante, además de un tiempo de vida medio de 117.3 segundos, un coeficiente de variación en el patrón de deposición de la gota de 47.44% indicando que se obtuvo

diversidad de tamaños de gota, validándolo con el dato recolectado de Amplitud Relativa de 1.05 que es un valor aceptable dentro de los parámetros teóricos.

Cuadro 11. Parámetros de calidad buscados por CASSA.

DV0.5	Gota Mediana
Tamaño gota promedio	200-300 μm
Cobertura	producto sistémico 20-30 g/cm ²
Eficiencia de aplicación	$\geq 70\%$
Tiempo de vida media	56 - 200 segundos
Coefficiente de variación	$\leq 30\%$
Amplitud relativa	0.80 -1.20

6.11. Orden de mezcla agroquímicos

El orden de mezcla de los agroquímicos es por lo general un aspecto que menos importancia se le asigna, siendo determinante para lograr una buena eficiencia biológica de los ingredientes activos que se utilizaran.

Para el caso de los VANT, estos no deben aplicar agroquímicos sin antes realizar una prueba de compatibilidad de la mezcla que evitara problemas al momento de realizar la aplicación. Según lo describe el método desarrollado por el Centro Brasileiro de Bioaeronáutica (CBB) expresado por Itaqui (2013) que permite medir el grado de estabilidad de la mezcla bajo los siguientes parámetros (Cuadro 12):

Cuadro 12. Metodología de la jarra desarrollado por CBB

Grado	Condiciones	Resultado
1	Separación inmediata	No aplicar
2	Separación después de 1 min	No Aplicar
3	Separación después de 5 minutos	Agitación continua
4	Separación después de 10 minutos	Agitación continua
5	Separación después de 30 minutos	Sin restricciones

Fuente: ITAQUI. 2013.

El orden de mezcla debe acondicionarse al agua en los parámetros de pH (5.5 a 6.5) y Dureza (< 120 ppm de CaCO₃), deseados en un volumen mínimo al 50% de mezcla, luego se deberá adicionar los agroquímicos sólidos y posteriormente los líquidos según sea el caso y estos no deberán exceder para el caso de los VANT más de 3 ingredientes activos en la mezcla, verificando el estado de solubilidad de los productos en polvo (Itaqui. 2013).

En CASSA, se hacen pruebas para validar el orden de mezcla de productos agroquímicos, realizadas por el Departamento Investigación Agrícola, determinando el siguiente orden de mezcla:

Orden de mezcla fertilizantes foliares

1. Agua 50%
2. Solub 21
3. Organosato
4. Agua

Orden de mezcla para Ethephon

1. Agua 50%
2. Optilux 48 SL / Prep 72 SL
3. Bivert
4. Agua

Orden de mezcla para Madurantes

1. Agua 50%
2. Tri-fol MAX
3. Madurante (Glifosato / Trinexapac Ethyl) + Bivert 6 SL
4. Agua

6.12. Procesos y metodologías para aplicaciones aéreas de agroquímicos

6.12.1. Proceso logístico para aplicaciones aéreas

El procedimiento de las aplicaciones aéreas inicia con la necesidad de parte de los productores de caña de azúcar que entreguen su materia prima a los ingenios Central Izalco e Ingenio Chaparrastique, luego se procede a generar una Orden de Servicio (OS), la cual detallará los productos a aplicar, la dosificación a colocar en el lote, el tipo de aeronave que realizará esta acción. El técnico de aplicaciones aéreas recibe la información de la OS, retira el insumo de los almacenes y programa el día de la aplicación. Una vez llegue el momento de la aplicación este verificará las condiciones meteorológicas estén bajo los parámetros idóneos antes de despegar. Una vez aplicado el lote este se registra en una ficha todos los parámetros de la aplicación, la cual quedará como evidencia de la actividad realizada.

6.12.2. Metodología de aplicación aérea

El primer paso consiste en la mezcla del ingrediente activo, formulación e ingrediente inertes en el tanque, en el cual se determina el volumen de agua, calidad del agua y orden de mezcla, para que dentro del tanque pulverizador el producto sea diluido, tenga agitación constante y se mantenga la estabilidad, solubilidad y compatibilidad en los

productos, para que luego la mezcla pase por un circuito cerrado bajo cierta presión para salida al exterior ya pulverizado dependiendo del tipo de equipo y boquilla utilizado. Durante la salida del producto pulverizado puede haber factores que afecten las aplicaciones como las condiciones climáticas ocasionando pérdida de calidad en la aplicación, por lo cual se monitorean constantemente las condiciones climáticas. Después de la salida del producto, este alcanza a llegar a impactar el objetivo, formando una deposición, en el cual ejerza el efecto biológico por el cual fue aplicado.

6.13. Materiales y equipos para determinar la calidad de las aplicaciones aéreas

6.13.1. Papel pH

El pH es la concentración de iones hidrógenos presentes, a mayor concentración de iones tendremos un pH más ácido y cuanto menos concentración de iones tendremos un pH más básico (Lardizábal. 2011). El equilibrio del pH en agua se encuentra en el valor 7, lo cual indica neutralidad, y este valor puede ser necesario para muchísimos cultivos, pero cuando aplicamos un tratamiento fitosanitario foliar el recomendado es determinado por el pH, que representa un valor importante no solo en la capacidad de asimilación por parte del cultivo o la efectividad del tratamiento, sino en el tiempo de vida útil del principio activo empleado.

Una de las formas para determinar los valores de pH en las mezclas de agroquímicos es el uso de tiras de papel indicador de pH, este se sumerge en la mezcla de agroquímicos para su examinación, al paso de 10 o 15 segundos se podrá comparar el color que obtuvo con el de la escala de colores que mide el pH, de esta manera se puede conocer el nivel de la acidez o alcalinidad de una solución.

6.13.2. Tiras de Prueba para Dureza Total

El agua naturalmente contiene iones de calcio (Ca^{+}), magnesio (Mg^{+}), hierro como ion férrico (Fe^{+}) y posiblemente otros iones como sodio, potasio, etc. La dureza del agua es causada por la cantidad de iones Ca y Mg presentes. El agua es considerada dura cuando la concentración total de estos iones está por encima de cierto nivel. En investigaciones realizadas por la UCR (2002) mencionan que el agua con menos de 50 ppm es

considerada un agua blanda, 50 a 100 ppm como de dureza media y entre 100-200 ppm como agua dura.

Tiras de Prueba para Dureza Total nos indica la probabilidad de que se provoquen precipitaciones por la interacción de algunos nutrientes con las sales de Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Hierro (Fe). La dureza del agua disminuye la vida media de los agroquímicos, es decir, el ingrediente activo se degradará más rápido cuando se aplica usando aguas duras, reduciendo la eficiencia de los agroquímicos al reducir su vida media (Gómez. 2006), además, puede afectar adversamente la dispersión del producto en las gotas y en consecuencia produciendo fitotoxicidad.

6.13.3. Tester de presión

Esto se realiza con la finalidad de comprobar la presión de descarga de líquido, para lo cual, se intercambia una boquilla a la vez, por el tester; luego, se procede a que el VANT descargue, y el tester, indica la presión de descarga en Bar o PSI, con el fin de obtener información sobre las presiones que manejan los equipos para aplicaciones aéreas de agroquímicos, y que estas sean las necesarias de acuerdo al tipo de boquilla que utilizan.

6.13.4. Calibrador de descarga

Esto determina la descarga que el VANT descarga de acuerdo a la presión y tipo de boquilla utilizada, en el cual calibrador se coloca en la salida de la boquilla con una inclinación de entre 10 a 15° cuando descargue líquido, indicando la cantidad de litros por minuto y litros por hectárea que el equipo aplica, para comparar los resultados obtenidos de acuerdo al manual de Teejet Technologies, estableciendo la capacidad que tiene en descarga una boquilla dicha en litros por minuto.

6.14. Evaluación económica entre el uso de VANT, avioneta y helicóptero en aplicaciones aéreas de agroquímicos.

Las aplicaciones aéreas de agroquímicos en las áreas de producción de caña de azúcar de CASSA se utilizan tres diferentes tipos de aeronaves, VANT, avioneta y helicóptero, de las cuales cada uno de ellas tiene ciertos beneficios e inconvenientes para su uso. En el caso de los VANT, estos pueden ser usados si se hace una aplicación de solo 1

hectáreas, mientras que, con la avioneta y helicóptero se deben utilizar para áreas mas extensas desde 20 a más hectáreas para que sea rentable la utilización de las aeronaves.

Los VANT necesitan el uso de baterías, 2 personas para el desarrollo de las aplicaciones (piloto y mezclador del producto agroquímico), vehículo 4x4, además de tener mantenimiento y piezas de recambio para el equipo y mantenerlo en funcionamiento. Con la avioneta se necesita 1 piloto, que en este tiempo son escasos por la complejidad y destreza que se necesita, entonces, para el desarrollo de la aplicación se debe de contar por lo menos con una persona que haga la mezcla de los productos agroquímicos y lo traslade al tanque, además de tener en cuenta el combustible y mantenimiento de la avioneta que debe de ser cada año. Para las aplicaciones con helicóptero se necesita de logística mas compleja, ya que se debe de considerar el transporte desde el hangar hasta el área del cultivo, transporte del combustible, pipa con agua y tener un lugar disponible para aterrizar cercana al lugar de la aplicación, además de contar con 2 personas para mezclar el producto y trasladarlo al tanque y otra persona para trasladar el combustible, por otro lado, se debe de tomar en cuenta las horas de vuelo para realizar el mantenimiento el cual es realizado fuera del país e implica un promedio de mes y medio en que el helicóptero no estará en operación.

Cuadro 13. Costos a considerar por cada aeronave

Aeronave	Cost. aeronave	Costo del personal/meses	Combustible o batería (Ha)	Precio combustible (galón) o baterías (c/u)	Mantenimiento	Tarifa/Hora
VANT T10/T20	\$25,000/\$30,000	\$1200	1 batería	\$1200 /batería	\$5000/piezas	\$17.75
Avioneta	\$48,000	\$2000	1 galón	\$7.50	\$30,000	\$17.75
Helicóptero	\$500,000	\$2800	1.5 galones	\$8.24	\$250,000	\$26.00

Fuente: Grupo CASSA

Los costos que conlleva el uso de VANT para aplicaciones de agroquímicos son los más bajos, en comparación con las otras dos aeronaves, pero de igual forma se necesita una inversión inicial grande ya que el costo de VANT puede ser de entre \$25,000/\$30,000,

adicionándole las baterías extra para tener mayor autonomía con un costo individual de \$1200 y tener en cuenta el personal capacitado para el desarrollo de la operación, vehículo 4x4, mantenimiento y contar con piezas de recambio por ciertos desperfectos en la aeronave.

En base a todos los costos que conlleva el desarrollo de la aplicación con las diferentes aeronaves, el costo de tarifa por hectárea aplicada por CASSA es de \$17.75/Ha para VANT y avioneta, el cual la avioneta tiene la misma tarifa que los VANT pero lo compensa con la mayor cantidad de hectáreas que puede aplicar en un solo vuelo, por otro lado, con helicóptero la tarifa es de \$26/Ha, siendo esta aeronave la que implica mayores costos de operación y mayor complejidad en la logística.

7. Conclusiones

Se comprobó que la tecnología VANT genera aumento de la productividad, capacidad de trabajo y cobertura adecuada en la distribución de los productos agroquímicos.

Con la configuración establecida de 3 metros sobre el cultivo y con la boquilla AIXR110015 hay mejoras resultados en las aplicaciones aéreas de agroquímicos para la utilización de producto sistémicos.

Los parámetros evaluados fueron los adecuados para determinar mejoras en eficiencia y precisión para las aplicaciones aéreas en caña de azúcar con VANT.

Las aplicaciones aéreas con VANT son las que presentan menores costos de operación, pero implica alta inversión inicial.

8. Recomendaciones

Partiendo de las pruebas de evaluación realizadas, se recomienda dar el seguimiento respectivo a la investigación de búsqueda de eficiencia y precisión en las aplicaciones aéreas con VANT, con el objetivo de garantizar la sostenibilidad en la producción de caña de azúcar.

Establecer rutinas de inspección en el seguimiento del desarrollo de las aplicaciones aéreas de agroquímicos, de manera que se cumplan todos los requisitos y parámetros aceptables necesarios para tener buena calidad en las aplicaciones en caña de azúcar.

Desarrollar jornadas de capacitación sobre calidad de aplicaciones de agroquímicos dirigidas hacia técnicos del área de producción agrícola, transferencia de tecnología, cosecha y empresas prestadoras de servicios de aplicaciones aéreas con el fin dar conocimiento sobre la importancia que se tiene en la producción del cultivo de caña de azúcar.

9. Bibliografía

- Acosta, G & Mendoza, C. 2017. Aplicaciones de los drones en la agricultura (*en línea*). Universidad Católica de El Salvador, El Salvador. Consultado el 23 de oct. 2022. Disponible en: <http://www.diyys.catolica.edu.sv/wp-content/uploads/2017/09/25dronesAN17.pdf>
- Azúcar de El Salvador. 2016. PIB, Generación de empleo, Exportaciones, Diversificación, Cadena de Valor (*en línea*). Consultado el 23 de Oct. 2022. Disponible en: <https://azucardeelsalvador.com>
- Azúcar de El Salvador. 2016. PIB, Generación de empleo, Exportaciones, Diversificación, Cadena de Valor (*en línea*). Consultado el 20 de Oct. 2022. Disponible en: <https://azucardeelsalvador.com/impactos-economicos/#PIB>
- Carrancio, A & Massarro, R. 2018. El Delta T (ΔT) como indicador del ambiente meteorológico para pulverizaciones (*en línea*). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina. Consultado el 19 de oct. 2022. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta.delat-t-indicador-meteorologico_2.pdf
- CASAFE (Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes). 2022. Condiciones Climáticas: ¿Qué mirar y cómo interpretarlas? (*en línea*). Consultado el 19 de Oct. 2022. Disponible en: <https://www.casafe.org/condiciones-climaticas-que-mirar-y-como-interpretarlas/#:~:text=Es%20importante%20que%2C%20al%20realizar,termómetro%20y%20un%20higrómetro%20respectivamente>.
- Castillo, B. 2010. Formación de gotas en la aplicación de plaguicidas (*en línea*). Tecnología de aplicación de agroquímicos Cap. 3. Consultado el 19 de Oct. 2022. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_tecnologia-de-aplicacion-de-agroquimicos.pdf
- CropLife. 2021. Uso de drones en la agricultura (*en línea*). Consultado el 1 de Sep. 2022. Disponible en: <https://www.croplifela.org/es/actualidad/articulos/uso-de-drones-en-la-agricultura#:~:text=Una%20de%20las%20herramientas%20que,para%20la%20producción%20agrícola%20global>.
- Etiennot, A & Piazza, A. 2010. Buenas prácticas de aplicación en cultivos planos extensivos. Distancias a zonas urbanas. Criterios y soluciones (*en línea*). Revista SciELO. Universidad Argentina de la Empresa. Argentina. Consultado el 31 de Ago. 2022. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-37432010000200002

- Gómez, D. 2006. El agua en la agricultura (*en línea*). FARMAGRO. Consultado el 19 de oct. 2022. Disponible en: <https://lagranja.ups.edu.ec/index.php/granja/article/view/1.2002.13>
- Hofman & Wilson, F. 2003. Norma S-572 (*en línea*). Consultado el 20 de Oct. 2022. Disponible en: <https://www.mssoy.org/uploads/files/asae-s-572.pdf>
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 2014. Utilización de tarjetas hidrosensibles para evaluar el efecto de la presión sobre la calidad de aplicación (*en línea*). Consultado el 10 de Oct. 2022. Disponible en: <https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-utilizacion-de-tarjetas-hidrosensibles-para-evaluar-efecto-de-presion-sobre-la-aplicacion.pdf>
- Itaqui, R. 2013. Calidad de aplicación de herbicidas. Tiempo de aplicación de un caldo (*en línea*). Centro Brasileiro de Bioaeronáutica. Brasil. Consultado el 22 de oct. 2022. Disponible en: <http://www.bioaeronautica.com.br>
- Lardizábal, R. 2011. Correcta aplicación de agroquímicos (*en línea*). USAID (Agencia de EE. UU. para el Desarrollo Internacional). Consultado el 22 de oct. 2022. Disponible en: http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/bitstream/handle/123456789/311/ACCESO_Produccion_Correcta_Aplicacion_Plaguicida_12_11_SLIDES.pdf?sequence=1#:~:text=El%20pH%20ideal%20para%20la,la%20mayoría%20de%20los%20productos.&text=Como%20ejemplo%20de%20esto%20es,4.5%20para%20tener%20mejor%20efectividad.
- Leiva, P. 2010. Concepto de Calidad de Aplicación en pulverización agrícola (*en línea*). INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). Consultado el 19 de Oct. 2022. Disponible en: <https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2021/02/Leiva-1.pdf>
- Merani, V; Mur, M; Ramirez, F; Ponce, M; Guilino, F & Palancar, T. 2019. Efecto de variables operativas sobre la calidad de aplicación y la deriva en la pulverización de agroquímicos (*en línea*). AGRISCIENCIA. VOL. 36. Consultado el 19 de Oct. 2022. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/126238/Documento.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 2011. ACUERDO N° 423 (*en línea*) Consultado el 6 de Oct. 2022. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjaoOXHzuX7AhUFQjABHR_uAxlkQFnoECBIQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.transparencia.gob.sv%2Finstitutions%2Fmag%2Fdocuments%2F264091%2Fdownload&usq=AOvVaw31NuNOvkG-mjxuZnMpO100

- Mira, E. 2019. Agroindustria Del Azúcar: Un Análisis De Sus Efectos Económicos, Sociales Y Ambientales En El Salvador (*en línea*). Centro de Investigación sobre Inversión y Comercio (CEICOM). Consultado el 23 de oct. 2022. Disponible en: <https://sv.boell.org/sites/default/files/2020-04/DOCUMENTOFINALESTUDIOCANADEAZUCAR.pdf>
- Morata, A; Di Prinzio, A; Escola, A, Bustos, A; Castillo, B; Fernandez, D; Hets, E; Gracia, F; Feria-Carot, F; Battle, F; Masia, G; Rodrigues, G; Bannister, I; da Cunha, J; Magdalena, Sanhuesa, J; Schlosser, J; Olivet, J; Villalba, J; Manterola, L; Texeira, M; Cid, R; Vieira, R, Behmer, S; Boller, W & da Carvalho, W. 2010. Tecnología de aplicación de agroquímicos (*en línea*). Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). Consultado el 18 de may. 2022. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_tecnologia-de-aplicacion-de-agroquimicos.pdf
- Norma S-572. s.f.
ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers) Clasificación de boquillas de pulverización por tamaño de gota (*en línea*). Consultado el 20 de Oct. 2022. Disponible en: <https://www.mssoy.org/uploads/files/asae-s-572.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 1976. Numero de impactos para lograr un buen control (*en línea*). Consultado el 20 de Oct. 2022. Disponible en: <https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta.cobertura-minima-necesaria.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (FAO). 2002. Las buenas prácticas agrícolas (*en línea*). 2° versión. Consultado el 31 de Ago. 2022. Disponible en: <https://www.fao.org/ag/esp/revista/faogapes.pdf>
- Pino, E. 2019. Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología (*en línea*). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú. Consultado el 23 de oct. 2022. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-34292019005000402&script=sci_arttext&tlng=en
- Salaverría, M. 2016. Agroindustria azucarera, pilar para el desarrollo socioeconómico de El Salvador. La Prensa Gráfica: Consultado el 20 de Oct. 2022. Disponible en: <http://www.laprensagrafica.com/2016/07/07/columna-de-opinionagroindustria-azucarera-pilar-para-el-desarrollo-socioeconomico-de-el-salvador>
- Teixeira, M. 2010. Tecnología de aplicación de agroquímicos. Estudio de la población de gotas de pulverización (*en línea*). Cap. 5. Consultado el 23 de Oct. 2022.

Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_tecnologia-de-aplicacion-de-agroquimicos.pdf

UCR. (Universidad de Costa Rica). 2002. Fertilización foliar: Principios y Aplicaciones (*en línea*). Centro de Investigaciones Agronómicas, Laboratorio de Suelos y Foliare. Consultado el 22 de oct. 2022. Disponible en: http://www.nutricaoodeplantas.agr.br/site/downloads/unesp_jaboticabal/Memoria_CursoFertilizacionFoliar.pdf#page=40

Villalba, J. & Hetz, E. 2010. Deriva de productos agroquímicos. Efecto de las condiciones ambientales (*en línea*). Tecnología de aplicación de agroquímicos Cap. 3. Consultado el 19 de Oct. 2022. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_tecnologia-de-aplicacion-de-agroquimicos.pdf

10. Anexos

Anexo 1.

Protocolo de evaluación de boquillas para VANT.

Programa de Aplicaciones Aéreas y Terrestres

Protocolo de evaluación para boquillas

La evaluación de diferentes tipos de boquillas busca establecer mejoras en la eficiencia y precisión de los equipos para las aplicaciones de agroquímicos, por medio de metodologías que estén enfocadas en el uso de buenas prácticas agrícolas, de las cuales se generen impactos en las aplicaciones aéreas, garantizando la sostenibilidad de la producción de caña de azúcar, siendo esta investigación en beneficio de la empresa, medio ambiente, personas y comunidades locales.

Objetivo: Determinar el tipo de boquillas que presentan mejor eficiencia y precisión en las aplicaciones aéreas con VANT

Específicos:







- Detallar las características de los diferentes tipos de boquillas a evaluar.
- Establecer los parámetros de configuración y condiciones climáticas para las aplicaciones de agroquímicos con VANT.
- Definir la metodología para las pruebas de evaluación de los 8 tipos de boquillas.




Introducción

Las nuevas tecnologías agrícolas brindan oportunidades para aumentar la productividad, eficiencia y seguridad. Una de las herramientas que ha existido por algún tiempo, pero que en años recientes ha empezado a utilizarse en la agricultura, es el dron. 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 (CropLife. 2021).

El uso de buenas prácticas durante las aplicaciones son un conjunto armónico de técnicas y prácticas aplicables a la distribución de agroquímicos, propensos a lograr que el producto pueda expresar su máxima capacidad para la que fue concebido, disminuyendo al máximo cualquiera de las diferentes formas de deriva, evitando así los posibles daños emergentes a la salud y al ambiente (FAO. 2002), ya que la utilización de los productos fitosanitarios en la producción de alimentos representa un beneficio innegable, garantizando una mayor producción de los mismos bajo normas de calidad y haciendo que ésta sea mucho más estable (Etiennot y Piazza. 2010).

Características de las boquillas

Tipo de boquilla	bar	Tamaño de gota	Capacidad lt/min/boquilla	
Boquilla de Chorro Plano XR con Aire Inducido: AIXR110015	1.0	XC	0.34	
	2.0	VC	0.48	
	3.0	C	0.59	
	4.0	C	0.68	
	5.0	M	0.76	
	6.0	M	0.83	
Boquilla de Chorro Plano por Aire Inducido: AIC110015	2.0	UC	0.48	
	3.0	XC	0.59	
	4.0	XC	0.68	
	5.0	VC	0.76	
	6.0	VC	0.83	
	7.0	VC	0.90	
Boquilla de Pulverización de Chorro Plano: TTI11003	2.0	UC	0.48	
	3.0	UC	0.59	
	4.0	XC	0.68	
	5.0	XC	0.76	
	6.0	XC	0.83	
	7.0	XC	0.90	
Boquilla de Pulverización de Chorro Plano Antideriva: DG110015	2.0	M	0.48	
	2.5	F	0.54	
	3.0	F	0.59	
	4.0	F	0.68	
	5.0	F	0.76	
Boquilla de Doble Abanico y Aire Inducido: AI3070-015VP	1.0	VC	0.42	
	2.0	C	0.48	
	3.0	C	0.59	
	4.0	M	0.68	
	5.0	M	0.76	
	6.0	M	0.83	
Boquilla de cono hueco con Aire Inducido: AITX 80015VK	4.0	XC	0.449	
	5.0	XC	0.499	
	6.0	VC	0.545	
	7.0	VC	0.586	
	8.0	C	0.625	
	9.0	C	0.661	

Boquilla de cono hueco: TXvk-6	2.0	F	0.327	
	3.0	F	0.393	
	4.0	VF	0.448	
	5.0	VF	0.496	
	6.0	VF	0.539	
	7.0	VF	0.579	
Boquilla de Doble chorro plano: QJ90-2xtt110015-vp	1.0	VC	0.42	
	2.0	C	0.48	
	3.0	C	0.59	
	4.0	M	0.68	
	5.0	M	0.76	
	6.0	M	0.83	
Boquilla de Doble chorro plano: XR11002	1.0	M	0.46	
	2.0	F	0.65	
	3.0	F	0.79	
	4.0	F	0.91	

Materiales y métodos

Ubicación

Las pruebas de evaluación de las configuraciones de boquillas se realizarán en un terreno plano sin obstáculos, idóneo para realizar pruebas para este tipo de investigación. Esta área tiene un total de 2.16 Ha, de las cuales solo se utilizará 1.0 Ha (Figura 1).



Figura 1. Ubicación geográfica. Parte trasera Hda. Buena Vista.

Configuración de VANT

Se estableció como velocidad de vuelo 22-25 km/h, altura de vuelo sobre el tendido de tarjetas hidrosensibles a 3.0 metros y presión de descarga de 28.47 psi a 64.01 psi. Ancho de faja para el VANT T10 de 5 metros,

Condiciones climáticas para aplicaciones aéreas

Al momento de las pruebas se consideraron las condiciones climáticas óptimas de humedad relativa 65%- 85%, temperatura 24°C-32°C, velocidad del viento 0-8 Km/h, delta T (ΔT) de 4-6, además de evitar la inversión térmica, los parámetros anteriormente dichos son los mismos utilizados para el desarrollo de aplicaciones aéreas de agroquímicos.

Recursos y materiales utilizados

Recursos	Materiales
VANT T10 DJI	Tubos de PVC 2" de 0.50m de largo (11)
VANT T20 DJI	Palometas para colocar las tarjetas (25)
Kestrel 5500AG Link	Pita de papelillo (50 m)
Trípode	Soportes de hierro (40)
Tarjetas hidrosensibles (3 paquetes/VANT)	Soportes laterales (2)
Laptop	Almódana
Software StainMaster	
Vehículo 4x4	
Combustible	
Disposición de personal auxiliar	

Diseño de evaluación

1° Evaluación:

Objetivo: comprobar la presión de descarga con cada tipo de boquilla.

La prueba consistirá en colocar el medidor de presión de descarga en las boquillas del VANT (Figura 2) de manera aleatoria para determinar la presión en psi a la que descarga el equipo con cada una de las diferentes boquillas a evaluar.



Figura 2. Evaluación de presión de descarga.

2° Evaluación:

Objetivo: comprobar el caudal de descarga de los VANT.

La prueba consistirá en colocar el caudalímetro en la salida de las boquillas (Figura 3), repitiendo esta prueba 4 veces por cada VANT.



Figura 3. Evaluación de caudal de descarga.

3° Evaluación:

Objetivo: Determinar la calidad de la aplicación con cada una de los 9 tipos de boquillas

Realizar 4 pases con el VANT para identificar el pecho de la aeronave y marcarlos para determinar la colocación de las tarjetas hidrosensibles (Figura 4).

Con el uso de tarjetas hidrosensibles (Teejet 52x76 mm) colocadas a 1 metro de separación sobre un tendido de 25 metros de largo (Figura 4), para luego ser escaneadas y analizadas con el software StainMaster, el cual proporcionara información sobre el patrón de deposición (uniformidad CV), cobertura (g/cm²), promedio de cobertura, cobertura máxima, volumen de recuperación (L/Ha), eficiencia

de la aplicación, tamaño de gota, diámetro medio, diámetro medio nominal, DV0.1, DV0.9 y DV0.5, para posterior análisis según criterio técnico sobre aplicaciones aéreas de agroquímicos con VANT.

Se realizarán 4 pases en total, siendo cada uno de ellos de 5 metros de ancho de faja teórico con el VANT T10 y de 6 metros con el VANT T20.

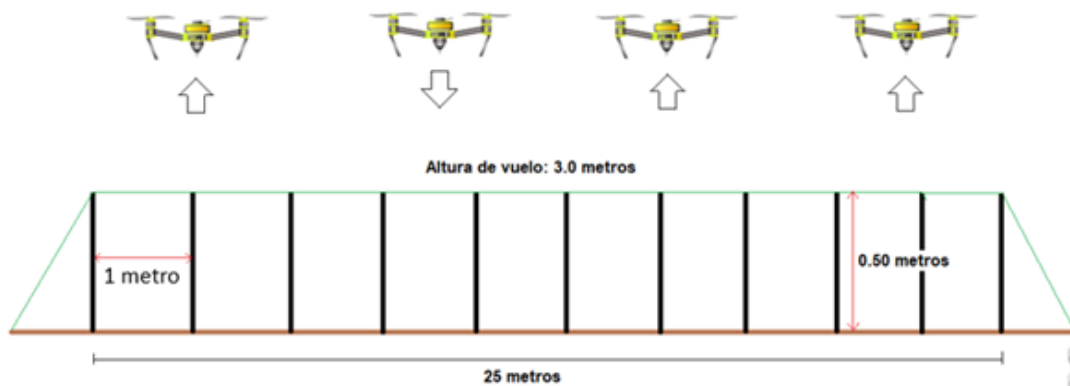
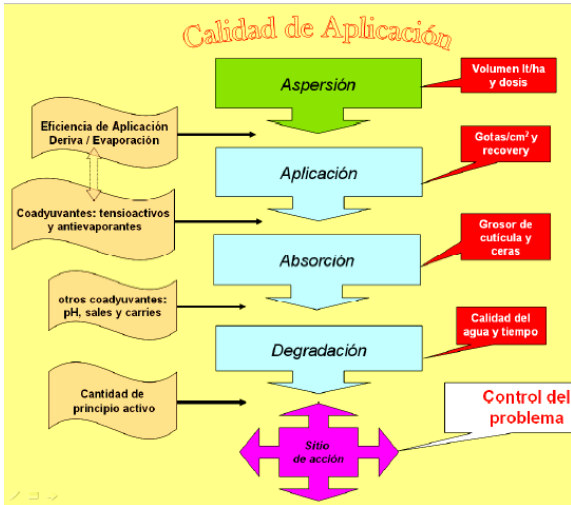


Figura 4. Segunda evaluación de boquillas con VANT T10.

Formato toma de datos

Tipo de boquilla	
Fecha	
Hora	
Cantidad de Tarjetas	
Modelo de VANT	
Cantidad de boquillas	
Altura de vuelo	
Velocidad de vuelo	
Ancho de faja	
Dosis (L/Ha)	
Presión (psi)	
Caudal (L/min)	
Temperatura (° C)	
Hum. Relativa (%)	
Velocidad del viento (Km/H):	
Delta T	
Dirección del viento	

Observaciones:



Anexo 2. Condiciones para calidad de aplicaciones

Producto	Cobertura (gotas.cm ⁻²)
Herbicida	
Preemergencia	20 – 30
Plántula	30 – 40
Planta (contacto)	50 – 70
Planta (sistémico)	30 – 40
Insecticida	
Contacto	40 – 50
Sistémico	20 – 30
Fungicida	
Contacto	50 – 70
Sistémico	30 – 40

Anexo 3. Cobertura de gotas en relación a producto utilizado

CLASIFICACION DE LAS PULVERIZACIONES		
CATEGORIA DEL ESPECTRO	CODIGO DE COLOR	DMV μm(*)
MUY FINA	ROJA	< que 182
FINA	NARANJA	183 – 280
MEDIANA	AMARILLA	281 – 429
GRUESA	AZUL	430 – 531
MUY GRUESA	VERDE	532 – 655
EXTREMADAMENTE GRUESA	BLANCA	> que 655

Anexo 4. Clasificación de las pulverizaciones