

Avances Técnicos

ABRIL 2025

Arcila - Moreno, A. | Benavides - Machado P.

Cenicafé

Centro Nacional de Investigaciones de Café

574

Drones de aspersión en
la caficultura para el
manejo integrado
de la broca



El uso de insecticidas es una estrategia de manejo integrado de la broca, la plaga de mayor perjuicio a la caficultura colombiana, que requiere aspersiones oportunas y a bajo costo. En Colombia, los equipos de aspersión tradicionales utilizan volúmenes superiores a 250 L ha⁻¹ y demandan alta cantidad de mano de obra entrenada (Arcila-Moreno et al., 2024; Montoya & Villalba, 2013).

La aspersión de pesticidas con drones inició hace 40 años en Japón y contribuyó a resolver un problema de escasez de mano de obra (Sato, 2003; Wong, 2001). La investigación del uso de estos drones en café es aún limitada. Para el control de broca en

Brasil se han estudiado parámetros operativos como volúmenes de aplicación, coadyuvantes, boquillas, velocidades y alturas de vuelos (Cunha et al., 2024).

Existen dos tipos de drones de aspersión: de ala fija y de rotor múltiple (cuadricópteros, hexacópteros y octocópteros) (Figura 1), estos últimos permiten aspersiones de precisión, operan a baja altura de vuelo y en áreas pequeñas o de difícil acceso. El sistema de aspersión es con boquillas hidráulicas (Figura 2a) que generan un rango amplio de tamaños de gota, o con boquillas de disco rotativo (Figura 2b) que producen gotas de tamaño uniforme.

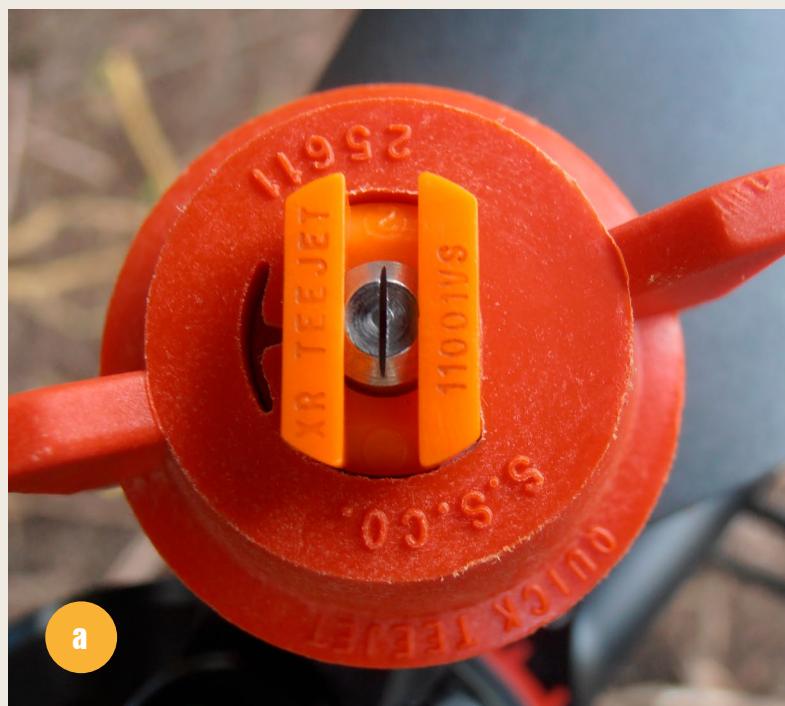


Figura 1. Dron de motor múltiple octocóptero para aspersiones agrícolas.

Normatividad en Colombia para el uso de drones de aspersión

La Aeronáutica Civil de Colombia (Aerocivil), a través de la norma RAC100 de 2023, regula la operación de aspersión y dispersión con drones, de acuerdo con los requisitos presentados en la Tabla 1 (Aeronáutica Civil, 2023). Este Avance Técnico presenta los primeros resultados del control de la broca con drones de aspersión, así como los resultados de la calidad física de las aspersiones en el cultivo del café con drones de primera generación, y se brindan recomendaciones para el ajuste de algunos parámetros operativos de vuelo.

El uso de drones en la agricultura está regulado por la norma RAC 100 de 2023 de la Aeronáutica Civil de Colombia



a



Figura 2. Tipos de boquilla para uso con drones **a.** Boquilla hidráulica. **b.** Boquilla de disco rotativo.

Tabla 1. Requisitos en las categorías abierta y específica de la norma RAC 100 para la operación de drones de aspersión y dispersión en Colombia.

Requisito	Categoría Abierta	Categoría Específica ¹
Ánimo de lucro (comercial)	No	Sí
Peso máximo de operación del dron ²	Hasta 25 kg	Hasta 250 Kg
Registro e identificación dron ante UAEAC ³	Sí	Sí
Certificación de explotador de dron	No	Sí
Certificación de idoneidad piloto UAS ante UAEAC y adiciones correspondientes a la aspersión aérea	No ⁴ (se le denomina operador UA)	Sí (se le denomina piloto UAS)
Sistema de gestión de seguridad operacional	No	Sí
Póliza de responsabilidad civil extracontractual	No	Sí
Autorización plan de vuelo UAS emitido por UAEAC ⁵	No	Sí
Cumplimiento de normatividad adicional ⁶	Sí	Sí

¹ Aplica también cuando existe desviación (no cumplimiento) de cualquiera de las restricciones de la categoría abierta

² Peso (masa) bruto de operación incluyendo todos elementos que estén abordo o conectados al dron al despegue

³ UAEAC: Unidad Administrativa Especial de la Aerocivil

⁴ Requiere conocimientos básicos (ver normatividad). UA/UAS: aeronave no tripulada/sistema de aeronave no tripulada incluidos periféricos (por sus siglas en inglés)

⁵ Adicionalmente, no se requiere autorización cuando la operación se realiza cumpliendo los siguientes requisitos: actividad no remunerada; vuelos a menos de diez metros de altura sobre la capa vegetal que está siendo asperjada; solo en predios del propietario o explotador del dron; con peso del UA al despegue, igual o menor a 250 kg; por un piloto UAS; en la categoría abierta, el propietario no posea más de dos UA; cumplimiento de normatividad adicional.

⁶ Consultar Norma RAC 100

Calidad del cubrimiento de las aspersiones con drones

En la Estación Experimental Paraguaicito (Tabla 2) se evaluaron los drones Agras MG 1 y MG 1S (DJI, China) con diferentes velocidades y boquillas para determinar el **cubrimiento**, es decir, el número de gotas por centímetro cuadrado que llegan a diferentes sectores de árboles de primera, segunda y cuarta cosecha.

Preliminarmente se determinó la altura de vuelo óptima para cada tipo de boquilla y con ello, el ancho de faja efectivo (AFE) que corresponde al mínimo óptimo de gotas por centímetro cuadrado, de acuerdo con el producto a aplicar. La evaluación se

realizó seleccionando al azar nueve o diez árboles; en cada árbol se colocaron tarjetas colectoras de gotas en los puntos indicados (Figura 3). El material de las tarjetas fue papel fotográfico con un tamaño de 6,0 cm x 3,0 cm y para la aspersión el colorante utilizado fue el producto usado en la industria de alimentos, UVA C31 (Frutaroma, Colombia) al 1% (p/v) en mezcla con agua.

Se observó que la calidad del cubrimiento fue similar entre la zona productiva y el tercio vegetativo superior (Figura 4a), así como en los distintos sectores productivos del árbol, tanto en la parte externa e interna de las ramas como en los tres tercios (Figura 4a). El promedio de la densidad de gotas fue superior a 50 gotas/cm², cumpliendo el requerimiento mínimo de 50 a 70 gotas/cm² para obtener eficacia con insecticidas de contacto (Syngenta, 2021).

Sin embargo, la penetración de las gotas no fue óptima en la cara inferior (frutos que están hacia abajo), contrario a los de la cara superior (frutos que están orientados hacia arriba). Aunque la edad del árbol (segunda y cuarta cosecha) influye en la penetración de las gotas, la calidad del cubrimiento fue óptima (mayor a 50 gotas/cm²).

Por otro lado, la velocidad de vuelo y el tipo de boquilla influyen en el cubrimiento (Figura 4b). Con la menor velocidad (1 m s⁻¹) todas las boquillas alcanzaron un cubrimiento mayor a 50 gotas/cm² y tuvieron bajos coeficientes de variación (CV). Al aumentar la velocidad, el cubrimiento disminuyó y aumentó el CV, lo que podría afectar la eficacia de las aspersiones. Las boquillas XR11001 y TX6

tuvieron cubrimiento adecuado a 3,0 m s⁻¹, y a 5 m s⁻¹ solo la primera. Dado que la boquilla incide en el tamaño de gota y que esta se recomienda sea inferior a 400μm; los resultados indican la importancia de seleccionar correctamente el tipo de boquilla o goteo y la velocidad en los drones modernos. Con estos resultados se seleccionaron las boquillas XR11001 y TX6 y la velocidad óptima de 1 m s⁻¹, para realizar la evaluación biológica.

Aspersiones con dron para el control de la broca

En la Estación Naranjal (Tabla 2) se comparó la eficacia de aspersiones con el dron Agras 1S (DJI,

Tabla 2. Características de los lotes y condiciones agroclimáticas durante los vuelos de los drones.

Características	Paraguaicito (Ensayo 1)	Paraguaicito (Ensayo 2)	Naranjal
Municipio	Buenavista	Buenavista	Chinchiná
Departamento	Quindío	Quindío	Caldas
Coordinadas	Latitud 4° 24' N Longitud 75° 48' W	Latitud 4° 24' N Longitud 75° 48' W	Latitud 4° 58' N Longitud 75° 39' W
Altitud (m)	1.203	1.203	1.381
Temperatura media (°C)	20,8	22,2	20,9
Humedad relativa media (%)	84,0	82,0	82,7
Brillo solar (h)	5,4	7,0	5,5
Sistema de producción de café	Libre exposición	Libre exposición	Libre exposición
Topografía lote	Plana	Plana	Plana
Variedad	Castillo Paraguaicito	Castillo Paraguaicito	Cenicafé 1
Tipo de renovación	Zoca tradicional	Zoca tradicional	Zoca tradicional
Distancia de siembra	1,0 m x 1,5 m	1,0 m x 1,5 m	1,0 m x 1,4 m
Edad Cosecha	Primer año	Segundo - Cuarto año	Primer año
Hora de vuelo	10:00 - 13:00	10:00 - 16:00	10:00 - 12:00
Velocidad del viento (m s ⁻¹)	1,5 aproximadamente	< 3,0 *	< 3,0 *

* De acuerdo a observación visual y tomando como referencia la Escala de Beaufort (Royal Meteorological Society, s/f).

a

Ensayo 1

**b**

Ensayo 2



Figura 3. Ubicación de las tarjetas colectoras en el árbol (rectángulos blancos). **a.** Ensayo 1. **b.** Ensayo 2.

Para que la aplicación de un insecticida con drones sea eficaz en el control de la broca, la aspersión debe asegurar un cubrimiento óptimo de los frutos y tener en cuenta el volumen de aplicación, las condiciones de clima, el tipo de dron, las boquillas, la altura de vuelo, la velocidad y el ancho de faja efectivo en la aplicación.

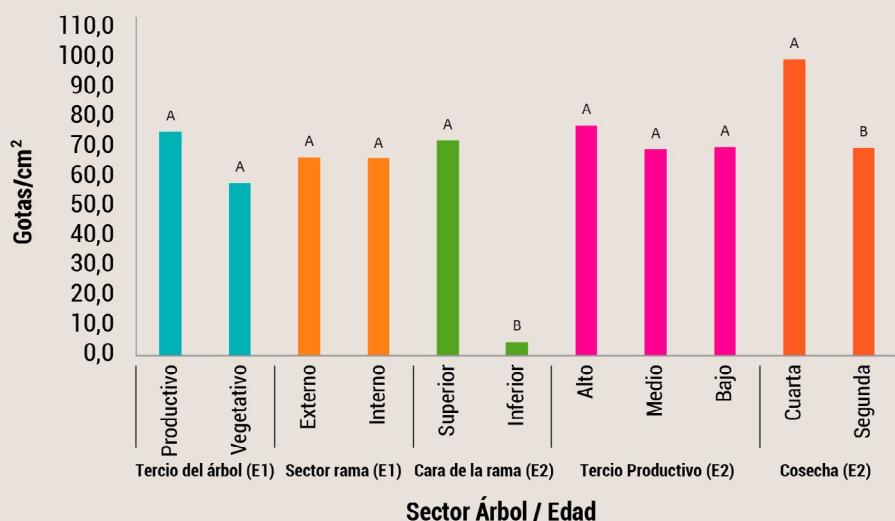
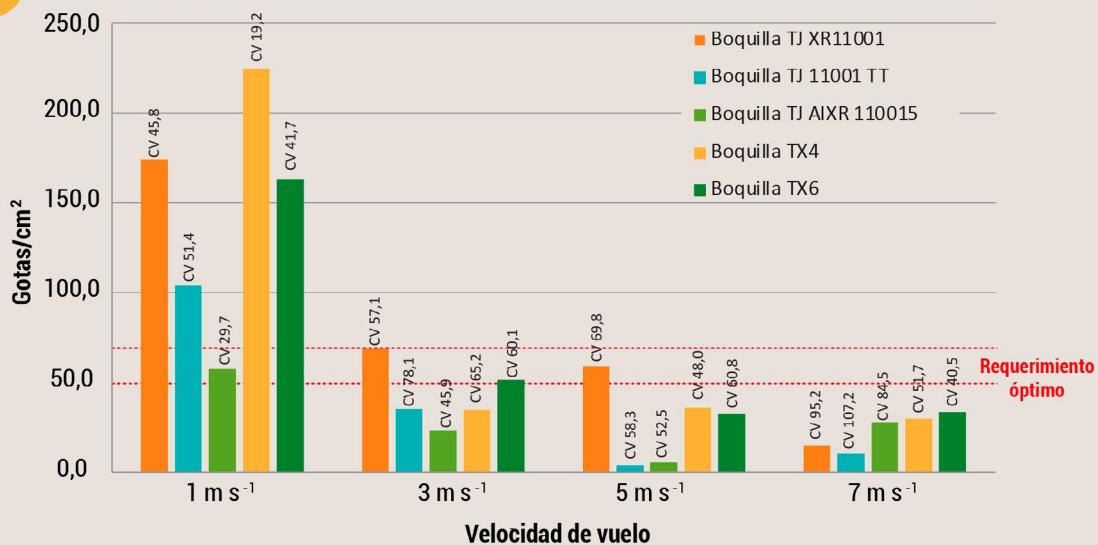
a**b**

Figura 4. Calidad de cubrimiento de una aspersión en árboles de café, obtenida con los drones dron DJI Agras MG -1, Ensayo 1 (E1) y MG – 1S, Ensayo 2 (E2). **a.** Promedio de densidad de gotas según el sector del árbol o edad del cultivo. Para cada color de barras, letras no comunes indican diferencias según prueba de Kruskal-Wallis al 5% (Ensayo 1 y 2). **b.** Promedio de densidad de gotas en el árbol según la boquilla usada y velocidad de vuelo (Ensayo 2).

CV = Coeficiente de variación (%), es una medida de uniformidad de cubrimiento; valores inferiores a 70 son adecuados para insecticidas (Inostroza et al., 2011).

Nota: En el Ensayo 2, salvo la comparación entre caras, el análisis estadístico se realizó teniendo en cuenta solo las tarjetas ubicadas en la cara superior de las ramas.

China), frente a la obtenida con un equipo eléctrico de espalda utilizando boquilla TX3 y presión de trabajo de 40 psi. El dron se evaluó en ocho tratamientos con diferentes volúmenes de mezcla, dosis de insecticida, tipos de boquillas y pasos de vuelo (Figura 4). El insecticida utilizado fue Voliam Flexi, con el ingrediente activo clorantranilipol más tiametoxam (Syngenta, Stein, Suiza).

En parcelas de 347 m² asignadas aleatoriamente a los tratamientos, seis y 14 días después de la aspersión se infestaron 20 árboles por parcela (método mangas entomológicas). La infestación fue en la misma rama de cada árbol (con frutos de más de 150 días de desarrollo). Después de siete días

de la segunda infestación se registró el número de frutos con la broca en el canal de penetración (frutos sanos) y en frutos con broca en la almendra (frutos dañados); la relación entre frutos sanos y el total de infestados, determinó la variable porcentaje de frutos con almendra sana.

Los resultados muestran que aplicaciones con volúmenes entre 40 y 100 L ha⁻¹ con la boquilla XR11001 y en dosis iguales o superiores a 500 cm³ ha⁻¹ o concentración igual o superior a 5,0 cm³ L⁻¹ del insecticida, tienen una eficacia similar a la obtenida con un equipo terrestre asperjando una concentración de 1,4 cm³ L⁻¹ (Tabla 3, Figura 5).

Tabla 3. Descripción de los tratamientos de operación del dron Agras 1S (DJI, China).

TTO	Volumen mezcla (L ha ⁻¹)	Dosis P.C. (cm ³ ha ⁻¹)	Concentración Insecticida (cm ³ L ⁻¹)	Boquilla	Pases del dron sobre la parcela
T1	100	1.000	10,0	TJ XR11001	Uno solo
T2	100	500	5,0	TJ XR11001	Uno solo
T3	50 + 50	250 + 250	5,0	TJ XR11001	Dos pases: cruzados
T4	40	500	12,5	TJ XR11001	Uno solo
T5	70	500	7,1	TJ XR11001	Uno solo
T6	100	350	3,5	TX6	Uno solo
T7	100	500	5,0	TX6	Uno solo
T8	100	350	3,5	TJ XR11001	Uno solo
T9 (TR)	260	364	1,4		TX3 (Equipo eléctrico de espalda)
T10 (TA)	0	0	0		Sin aplicación

TTO: tratamiento; P.C.: producto comercial; TR: testigo relativo; TA: testigo absoluto.

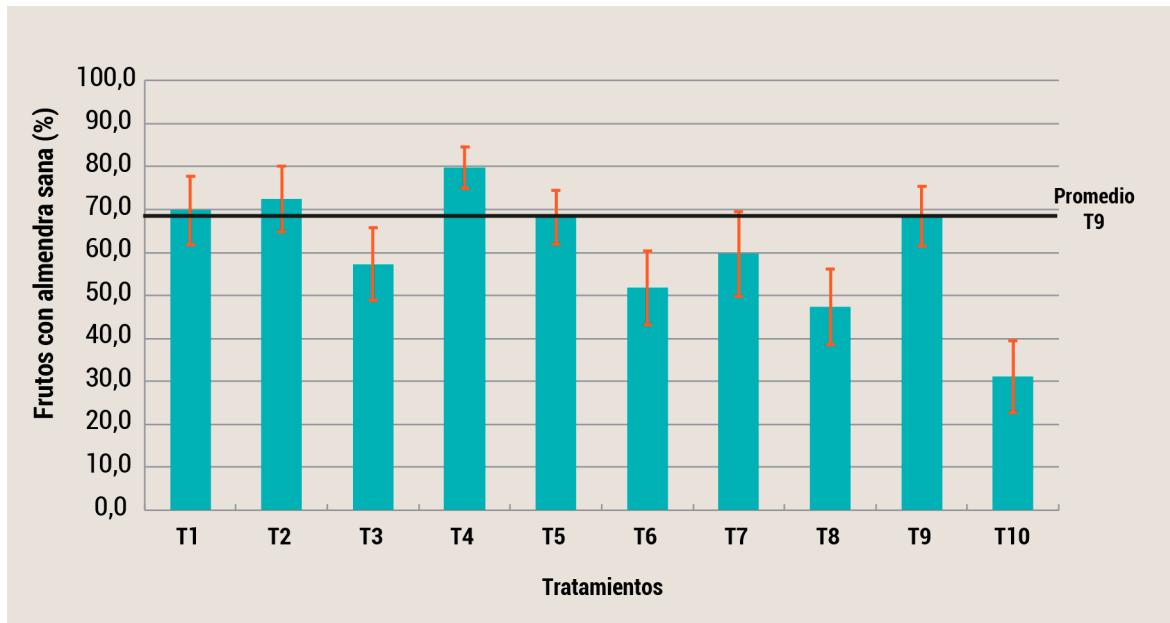


Figura 5. Promedio y límite de confianza al 95% del porcentaje de frutos de café con almendra sana en cada tratamiento, obtenida con el dron DJI Agras MG -1S operando a $1,0 \text{ m s}^{-1}$ y una altura de vuelo sobre la copa de los árboles de 2,3 m, en la Estación Experimental de Naranjal.

Aspectos a tener en cuenta en la operación de los drones

Factores ambientales

Temperatura. La evaporación y deriva aumenta con altas temperaturas. No se recomienda aplicar a temperaturas mayores de 30°C (Syngenta, 2021).

Humedad relativa (HR). Por riesgo de evaporación no se recomienda aplicar por debajo del 50% de HR o cuando la humedad alcanza 100% debido a la formación de rocío (CropLife Latin America, 2021; Syngenta, 2021).

Velocidad del viento. Evitar la aspersión por debajo de $1,5 \text{ m s}^{-1}$ o por encima de $3,0 \text{ m s}^{-1}$ (CropLife Latin America, 2021; Li et al., 2019; Syngenta, 2021).

Neblina y lluvia. Estas condiciones ocasionan lavado o dilución de la concentración insecticida (Cunha et al., 2010).

Inversión térmica. Las gotas pequeñas asperjadas quedan atrapadas en la neblina que se forma en las mañanas o al atardecer y no llegan al cultivo (Syngenta, 2021). No se recomienda aplicar en estas condiciones (Li et al., 2019; Syngenta, 2021).

Parámetros de vuelo y aplicación

Altura de vuelo. Con boquillas hidráulicas se recomienda operar entre 1,5 a 2,5 m **sobre el dosel del cultivo** (CropLife Latin America, 2021). El ajuste debe considerar el tipo de sensores de altura que tiene el dron y sobre superficie o área miden el suelo o el dosel.

Dependiendo de la tecnología y sensores que posea el dron, este se puede programar para diferentes alturas

Interlineado. Es el recorrido que hace de ida y vuelta. Afecta la cantidad óptima y uniforme de gotas por centímetro cuadrado y el rendimiento de operación

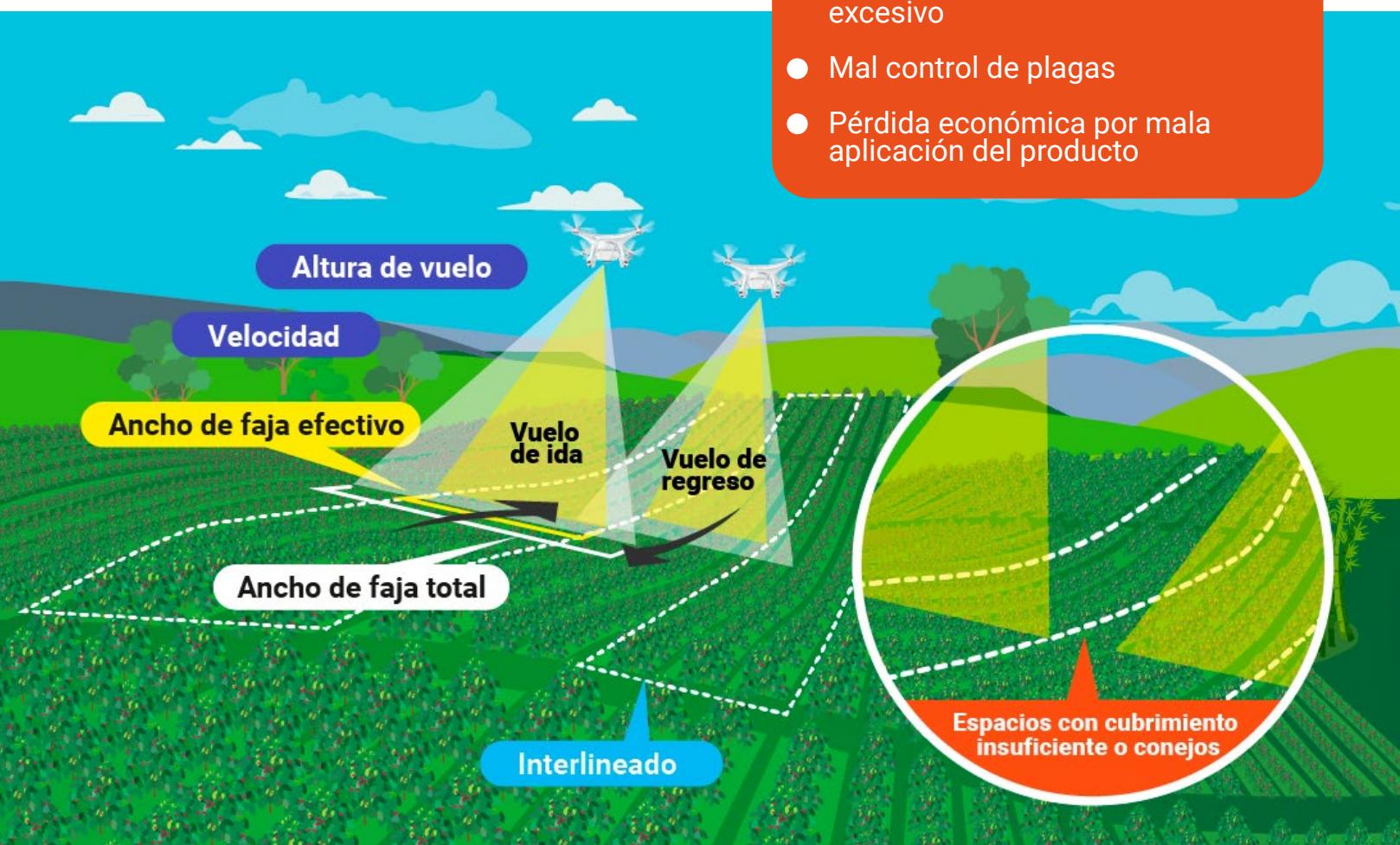
(Cunha & Carvalho, 2010). La distancia del interlineado debe ser igual al ancho de faja efectivo-AFE. Una altura o interlineado mal programados distorsionan el AFE.

Velocidad de vuelo. Se recomienda una velocidad entre 3,0 y 6,0 m s⁻¹ (CropLife Latin America, 2021; Li et al., 2019). Los resultados indican que una velocidad superior al 5,0 m s⁻¹, no es adecuada.

Hora de vuelo. Es recomendable asperjar a tempranas horas de la mañana o al atardecer, sin presencia de rocío o neblina. En épocas secas o en

El interlineado mal ajustado ocasiona:

- La formación de “conejos” o áreas con cubrimiento insuficiente o excesivo
- Mal control de plagas
- Pérdida económica por mala aplicación del producto



zonas cálidas no aplicar entre las 11:00 am y las 3:00 pm cuando sube la temperatura, la humedad relativa disminuye y aumentan las corrientes de aire.

Consideraciones

- El control de la broca del café con aplicación de insecticidas con drones mostró un adecuado cubrimiento de gotas en la zona productiva de árboles de café de segunda a cuarta cosecha, utilizando boquillas XR11001, TX4 y TX6, volando

a una velocidad de 1 m s^{-1} y alturas entre 1,5 y 3,0 m sobre el dosel del cultivo.

- El control de la broca con drones de aspersión puede ser similar al obtenido con aspersiones efectuadas con equipos de espalda usados tradicionalmente en la caficultura colombiana.
- Cuando la humedad relativa es muy baja y la temperatura del aire es muy alta el tamaño de la gota disminuye.

Familias caficultoras

El uso de drones de aspersión es una nueva tecnología que permite:



Efectuar las aspersiones en menor tiempo, mejorando la eficiencia y el rendimiento.

Realizar aplicaciones en el momento oportuno, esto es, cuando la plaga es más susceptible a la acción de los insecticidas.

Tener control sobre la cantidad de insecticida utilizado.

Hacer control en áreas precisas y ahorrar en mano de obra.

Con los parámetros correctos de vuelo y aspersión, las aplicaciones de insecticida pueden ser tan eficaces como con los equipos terrestres.

El uso de drones tiene regulaciones nacionales, que implican consideraciones de seguridad y salud en el trabajo.

Literatura citada

Aeronáutica Civil. (2023). Resolución 01983 del 2023. Por medio de la cual se incorpora la norma 'RAC 100 – Operación de sistemas de aeronaves no tripuladas UAS' a los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia, se modifica una sección y se deroga el Apéndice 13 de la norma RAC 91 de dichos reglamentos. <https://www.aerocivil.gov.co/normatividad/ResolucionesTA2023/RESL%20N%C2%B0%2001983%20SEP%2027%202023.pdf>

Arcila-Moreno, A., Vanegas, L. F., Mira-Rada, B. E., & Benavides, P. (2024). Ethiprole: Alternativa insecticida para el manejo integrado de la broca del café en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0569>

CropLife Latin America. (2021, enero 1). Recomendaciones para crear un Procedimiento Operativo Estándar (POE) para la aplicación de plaguicidas con drones. Uso de drones en la agricultura. https://www.croplifela.org/images/ES/PDF_ES/CLLA_Procedimiento_Operativo_Estandar_Aplicacion_Plaguicidas_Drones.pdf

Cunha, J. P. A. R. D., Lopes, L. D. L., & Alvarenga, C. B. D. (2024). Chemical Control of Coffee Berry Borer Using Unmanned Aerial Vehicle under Different Operating Conditions. *AgriEngineering*, 6(2), 1639–1648. <https://doi.org/10.3390/agriengineering6020093>

Cunha, J. P. A., & Carvalho, W. P. A. (2010). Tecnología de aplicación de agroquímicos por vía aérea. En J. C. Magdalena (Ed.), *Tecnología de aplicación de agroquímicos* (pp. 157–168). Área de Comunicaciones del INTA Alto Valle. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/16353>

Cunha, J. P. A., Teixeira, M. M., Castillo, B., & Rodrigues, G. (2010). Formulación de agroquímicos para el control de plagas. En J. C. Magdalena (Ed.), *Tecnología de aplicación de agroquímicos* (pp. 27–44). Área de Comunicaciones del INTA Alto Valle.

Inostroza, J., Méndez, P., & Ríos, P. (2011). *Manual de campo uso de equipos pulverizadores*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

Royal Meteorological Society. (s/f). *The Beaufort Wind Scale*. RMetS. Recuperado el 6 de mayo de 2025, de <https://www.rmets.org/metmatters/beaufort-wind-scale>

Li, X., Andaloro, J. T., Lang, E. B., & Pan, Y. (2019). Best Management Practices for Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) Application of Insecticide Products on Rice. *2019 Boston, Massachusetts July 7- July 10. 2019 Boston, Massachusetts July 7-July 10*. <https://doi.org/10.13031/aim.201901493>

Montoya, D. F., & Villalba, D. A. (2013). Evaluación física de las aplicaciones con diferentes equipos de aspersión para el manejo de la broca. *Revista Cenicafé*, 64(2), 48–58. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/530>

Royal Meteorological Society. (s/f). *The Beaufort Wind Scale*. RMetS. Recuperado el 5 de mayo de 2025, de <https://www.rmets.org/metmatters/beaufort-wind-scale>

Sato, A. (2003). The RMAX Helicopter UAV (p. 10). Aeronautic Operations YAMAHA MOTOR CO. https://www.academia.edu/download/53031694/The_RMAX_Helicopter_UAV.pdf

Syngenta. (2021). *Manual en Tecnología de Aplicación* (p. 94). https://www.syngenta.com.ar/sites/g/files/kgtney396/files/migration/f/2021/04/16/manual_en_tecnologia_de_aplicacion_syngenta.pdf

Wong, K. C. (2001). Survey of regional developments: Civil applications. *2001 UAV Australia Conference*. Melbourne, Australia. <https://doi.org/10.13031/aim.201901493>

Esta investigación fue desarrollada con recursos propios de Cenicafé bajo el código interno ENT107005

Autores

Aníbal Arcila Moreno

Asistente de Investigación
Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-4276-0521>

Pablo Benavides Machado

Investigador Científico III
Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-2227-4232>

Disciplina de Entomología

DOI (Digital Object Identifier)
<https://doi.org/10.38141/10779/0574>



Edición

Sandra Milena Marín López

Fotografías

Archivo Cenicafé

Diagramación

Carmenza Bacca Ramírez

Imprenta

Gerencia Técnica

Fondo Nacional del Café



ISSN-0120-0178
ISSN-2145-3691 (En línea)

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas no pertenecientes a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Entidad.

Manizales, Caldas, Colombia
Tel. (606) 8500707
www.cenicafe.org



Licencia Creative Commons CC de Atribución - sin derivar - no comercial por la que este material puede ser distribuido, copiado y exhibido por terceros solo si se muestra en los créditos. No se puede realizar obras derivadas y no se puede obtener ningún beneficio comercial.