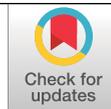


EVALUACIÓN DE EQUIPOS Y MÉTODOS DE APLICACIÓN DE HERBICIDAS EN EL CULTIVO DEL CAFÉ

Luis Fernando Salazar Gutiérrez *, Myriam Cañón Hernández **, Daniel Antonio Franco Chaurra **, Jhon Félix Trejos Pinzón 

Salazar-Gutiérrez, L., Cañón, M., Franco, D. A., Trejos Pinzón, J. F. (2024). Evaluación de equipos y métodos de aplicación de herbicidas en el cultivo del café. *Revista Cenicafé*, 75(1), e75106. <https://doi.org/10.38141/10778/75106>



Con el objetivo de evaluar tecnologías de aplicación de herbicidas en café, se realizó una investigación en dos etapas: 1. Se evaluó la eficacia del control, como cobertura de arvenses a los 21, 35 y 60 días después de la aplicación, y 2. La eficiencia de la aplicación, representada en el tiempo y volumen empleado. Se utilizó glifosato, en cultivos de un año de edad. La etapa 1 se realizó en las Estaciones Experimentales Naranjal-Caldas y Paraguaicito-Quindío, se evaluaron diferentes equipos: eléctrico de pulverización centrífuga (EPC), de aspersión de bombeo eléctrico (EBE) y aspersión de bombeo manual (EBM), este último con reguladores de presión (CFV) de 0,145 y 0,099 MPa, boquilla AI y sin regulador (testigo), bajo un diseño de bloques completos al azar con 12 repeticiones. La etapa 2, se realizó en las Estaciones Naranjal y La Trinidad-Tolima, se evaluaron: 1=EPC, 2=EBE, 3=EBM con CFV de 0,145 MPa, 4=equipo selector de arvenses (ESA) con ruedas, 5=ESA y 6=EBM sin regulador (testigo), con 12 repeticiones en parcelas de 0,2 ha. En la etapa 1, no hubo diferencias en la cobertura de arvenses. El volumen de aplicación fue mayor con boquilla AI (389 y 280 L ha⁻¹) comparado con el testigo que utilizó entre 300 y 200 L ha⁻¹. En la etapa 2, el tiempo de aplicación fue similar; el uso de CFV de 0,145 MPa fue consistente con la calibración, mientras que ambos ESA presentaron volúmenes de aplicación de 15 a 20 L ha⁻¹ y mejor cubrimiento de arvenses.

Palabras clave: Boquillas, fitotoxicidad, equipos de aspersión, manejo integrado de arvenses, tecnologías de aplicación, café, Cenicafé, Colombia.

EVALUATION OF EQUIPMENT AND METHODS FOR HERBICIDE APPLICATION IN COFFEE CULTIVATION

To evaluate herbicide application techniques on coffee, a study was carried out in two phases: 1. Weed control efficacy was evaluated by weed coverage 21, 35 and 60 days after application; 2. Application efficiency, expressed in time and volume applied, was evaluated. Glyphosate was used in one-year-old coffee crops. Stage 1 was conducted at the Naranjal-Caldas and Paraguaicito-Quindío Experiment Stations, evaluating different equipment: Electric Centrifugal Sprayer (EPC), Electric Pump Sprayer (EBE), and Manual Pump Sprayer (EBM), the latter with pressure regulator (CFV) of 0.145 and 0.099 MPa, AI nozzle, and without regulator (control), under a randomized complete block design with 12 repetitions. Stage 2 was conducted at the Naranjal and La Trinidad-Tolima Stations, evaluating: 1=EPC, 2=EBE, 3=EBM with CFV of 0.145 MPa, 4=weed selector equipment (ESA) with wheels, 5=ESA, and 6=EBM without regulator (control), with 12 repetitions in 0.2 ha plots. In stage 1, there were no differences in weed coverage. The application volume was higher with AI nozzle (389 and 280 L ha⁻¹) compared to the control that used between 300 and 200 L ha⁻¹. In stage 2, the application time was similar; the use of CFV at 0.145 MPa was consistent with calibration, while both ESA presented application volumes of 15 to 20 L ha⁻¹ and better weed coverage.

Keywords: Nozzles, phytotoxicity, spraying equipment, integrated weed management, application technologies, coffee, Cenicafé, Colombia.

* Investigador Científico II. Disciplina de Suelos, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-2302-4825>

** Asistente de Investigación. Disciplina de Experimentación, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-2349-2856>



La innovación tecnológica en el manejo de arvenses es clave para mejorar la rentabilidad y sostenibilidad en la agricultura (Westwood et al., 2018). En Colombia, la caficultura es realizada en su gran mayoría por pequeños productores, ubicados en zonas de montaña de fuerte pendiente y difícil acceso; siendo lugares, donde como práctica de cultivo y de conservación de suelos se recomienda realizar el manejo integrado de arvenses (MIA), que consiste en la integración conveniente y oportuna de los diferentes métodos de manejo de arvenses como son el manual, el mecánico y el químico (Salazar et al., 2020).

En el MIA, el control químico de arvenses se realiza con la aplicación de herbicidas, por focos o parches, mediante equipos de aspersión de mochila o espalda, de bombeo manual, de tanque metálico o plástico, con capacidad para 10 a 20 L (Pfalzer, 2004), o con el equipo selector de arvenses (Rivera, 2000; Salazar et al., 2015). Factores como la alta densidad de siembra, la susceptibilidad del café a los diferentes herbicidas, el rápido crecimiento de las arvenses y la topografía inclinada, conllevan a que el desplazamiento de los operarios deba realizarse en forma lenta y cuidadosa, lo cual influye en la eficiencia de la labor y en el volumen de aplicación (Pfalzer, 2004). Por otro lado, pueden presentarse fallas al aplicar un herbicida, que obedecen en parte al mantenimiento y manejo inadecuado de los equipos, como al empleo incorrecto de las técnicas o métodos de aplicación (Doll y Fuentes, 1981).

En este sentido, la labor del control de arvenses con equipos de aspersión de bombeo manual es extenuante porque puede causar fatiga en los operarios (Mattews et al., 2014), debido entre otras razones, a que permanentemente deben tener las dos manos ocupadas para realizar la labor y activar con una palanca el bombeo. En algunas ocasiones, el control de

arvenses con este método se torna ineficiente y se causan daños al cultivo debido al escaso control de la presión que se ejerce (Fee et al., 1999). Por lo anterior, con el objetivo de mejorar las condiciones de la labor, existen en el mercado diferentes versiones motorizadas con una bomba accionada eléctricamente, mediante el uso de baterías, que permiten mayor facilidad en la aplicación y el control de la presión y/o caudal de salida (Mattews et al., 2014; Sinha et al., 2019).

Están otras técnicas de aplicación como los equipos de acción centrífuga “tipo Herbi” (Johnstone et al., 1977; Mattews et al., 2014; Mohan et al., 2021), que son accionados con baterías recargables y se han ajustado para la aplicación localizada, de bajos volúmenes de herbicidas (5 a 50 L ha⁻¹) a ultra bajos (menores de 5 L ha⁻¹ producto comercial puro), con campana o pantalla protectora. Estos trabajan por acción de la gravedad y la pulverización de la gota se da por el movimiento centrífugo de un disco a alta revolución, el cual se activa por medio de baterías eléctricas; este equipo ofrece un tamaño de gota apropiado para el control de arvenses (alrededor de 200 a 250 micras) y un volumen de aplicación bajo (10 a 50 L ha⁻¹) (Bals, 1969; Johnstone et al., 1977). El tamaño de la gota se gradúa al variar la velocidad de rotación del disco (Mattews et al., 2014).

En cuanto a la regulación de la presión, los equipos de bombeo manual presentan grandes variaciones en la presión (0,09 a 0,41 MPa) por lo que se han desarrollado válvulas de presión constante (CFV) (Mattews et al., 2014; McAuliffe & Gray, 2002). Estas permiten mantener el flujo constante a través de las boquillas, independientemente de la presión de entrada y la tasa de bombeo. También realiza la función de cierre automático o antigoteo (Moreno Mena, 2011), hecho que favorece el

uso racional de herbicidas. Actualmente, estas válvulas se fabrican en material de polipropileno y están disponibles en el mercado para presiones desde 0,099 a 0,199 MPa.

Sobre las boquillas, según Matthews et al. (2014), la tecnología desarrollada al nivel mundial para aplicación de plaguicidas es abundante y se ajusta a cada condición del sistema de cultivo, del medioambiente y del objetivo de la aplicación. Las boquillas de abanico plano son las más recomendables para la aplicación de herbicidas postemergentes en el cultivo del café, debido a la menor proporción de gotas finas generadas en comparación con boquillas de cono (Gómez & Rivera, 1994), sin embargo, estas pueden generar aun una importante proporción de gotas finas (menores de 150 micras) que son susceptibles a la deriva. Por ello, en el mercado se recomiendan boquillas de inducción de aire o aire inducido (AI), que permiten una reducción significativa de gotas finas y reducen el riesgo de deriva (Matthews et al., 2014; Pitty et al., 2010).

Referente a las boquillas de aire inducido (AI) según Spraying Systems co. (2004), estas tienen un pre-orificio el cual introduce aire hacia el interior de la boquilla para que este se mezcle con el agua; el orificio de salida, es mayor que el pre-orificio, y es el que forma el patrón de aspersión. La mezcla del aire y el agua, forma un patrón de aspersión con el aire inducido a bajas presiones, el cual forma gotas gruesas y llenas de aire poco susceptibles a la deriva. Combella et al. (1996) en túneles de viento observaron que la boquilla AI redujo en 262% el riesgo de deriva en relación con la misma boquilla sin la tecnología de AI, lo cual es favorable para reducir el riesgo por fitotoxicidad a los cultivos y es más segura para los operarios. Sobre la fitotoxicidad por herbicidas, se asume que el 10% del herbicida aplicado en los cultivos llega a las plantas que no son objeto de la

aplicación, pero esa proporción puede llegar a ser aún más alta (Schrübbers et al., 2014).

En cuanto al equipo selector de arvenses, este es un dispositivo manual, para la aplicación selectiva de herbicidas sistémicos postemergentes, principalmente glifosato, el cual se fundamenta en el método de aplicación de herbicidas sistémicos “rope-wick” (Dale, 1979; Guzmán et al., 2022; Matthews et al., 2014). El equipo presenta una forma de T invertida, su parte horizontal es de 0,35 m y la parte vertical de 1,30 m, es elaborado con tubería de polipropileno de alta densidad tipo IPS de una pulgada de diámetro externo, la cual no se corroe ante sustancias químicas y soporta alta presión. La tubería permite contener un volumen de 750 cm³ de la mezcla herbicida y liberarla en forma lenta, mediante el mecanismo del frasco de Mariotte (Rivera, 2000; Salazar 2015).

En el selector de arvenses, la mezcla herbicida fluye por dos orificios de salida, de 1,0 mm de diámetro cada uno, ubicados en la parte inferior del equipo, sobre la parte horizontal de la T hacia un fieltro de algodón que cubre externamente esta parte del equipo, dicho fieltro se protege del desgaste con una lámina plástica permeable; una vez saturado el fieltro con la mezcla herbicida y mediante el movimiento pendular que ejerce un operario al equipo, se libera la mezcla por capilaridad en forma lenta, permitiendo impregnar la parte aérea de las arvenses con el herbicida, causando el daño o muerte a las mismas (Rivera, 2000; Salazar 2015). Este equipo permite hacer parcheos o controles selectivos sobre las arvenses objetivo, que para el café son aquellas de interferencia alta y media (Salazar, 2021).

En el mercado colombiano hay disponibilidad de cierta variedad de selectores de arvenses de diferentes formas y tamaños; también existen

algunos equipos con ruedas, que facilitan ajustar la aplicación a una altura fija o levemente variable (entre 5,0 a 10,0 cm), y que permiten seleccionar las arvenses de acuerdo a dicha altura, favoreciendo que el suelo permanezca cubierto por arvenses de poca elevación, con menor riesgo a la erosión, sobre los cuales son escasos los reportes de evaluación en la caficultura (Centro Nacional de Investigaciones de Café, 2022; Guamán et al., 2022).

El objetivo de esta investigación fue evaluar equipos y métodos de aplicación de herbicidas para el control de arvenses en el cultivo del café en términos de eficacia y eficiencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en dos etapas. En la etapa 1 se evaluó el efecto de los equipos y métodos de aplicación sobre la eficacia del control de arvenses, y en la etapa 2, se evaluó la eficiencia en el campo del Manejo Integrado de Arvenses (MIA), al utilizar las mejores opciones que resultaron de la primera etapa, sumado a la evaluación de dos equipos selectores de arvenses, con diferentes especificaciones.

Localización. La etapa 1 se llevó a cabo en las Estaciones Experimentales Naranjal (Chinchiná, Caldas) y Paraguaicito (Buenavista, Quindío), y la etapa 2 se llevó a cabo en las Estaciones Naranjal (Chinchiná, Caldas) y La Trinidad (Líbano, Tolima), la ubicación y características agroecológicas de las localidades se presentan en la Tabla 1.

Metodología de la Etapa 1

En las dos localidades, esta etapa se desarrolló en parcelas cultivadas con café variedad Castillo®, de un año de edad después de trasplante, sembrados a 1,0 m x 1,4 m, en un terreno con un grado de pendiente del 10%. La unidad experimental constaba de 28 plantas de café y un área de 39,2 m², la cual se componía de diez plantas de café efectivas, ubicadas en el centro de la parcela. En la etapa 1 se evaluaron ocho tratamientos descritos en la Tabla 2.

En los tratamientos en los cuales se utilizó herbicida, se usó pantalla protectora y glifosato 480 g L⁻¹ en dosis de 3,0 L ha⁻¹, la aplicación se realizó una vez las arvenses alcanzaron una altura entre 10 cm a 15 cm,

Tabla 1. Ubicación y características agroecológicas de las localidades experimentales.

Característica	Naranjal	Paraguaicito	La Trinidad
Municipio–Departamento	Chinchiná, Caldas	Buenavista, Quindío	Líbano, Tolima
Latitud	4°59'N	4°23'N	4°54'N
Longitud	75°39'W	75°44'W	75°02'W
Altitud (m)	1.381	1.203	1.456
Temperatura promedio (°C)	21,6	22,4	20,0
Precipitación anual (mm)	2.322	2.109	2.128

Tabla 2. Descripción de tratamientos, equipos y métodos de aplicación de la etapa 1.

Tratamiento	Equipo	Boquilla	Presión	Pantalla	Batería
1	Aspersor de pulverización centrífuga	De gravedad, caudal 65 cm ³ min ⁻¹	Por gravedad	Campana circular de 37 cm de diámetro	Litio 3,2 V
2	Aspersor de pulverización centrífuga	De gravedad, caudal 110 cm ³ min ⁻¹	Por gravedad	Campana circular de 37 cm de diámetro	Litio 3,2 V
3	Aspersor de bombeo eléctrico	Teejet 8001-VS	Constante de 0,145 MPa	Campana, abanico de 80° RC-H-02	Ion-Litio recargable 12 VDC
4	Aspersor de bombeo manual	Teejet 8001-VS	Constante de 0,145 MPa, con regulador CFV R1116SY	Campana, abanico de 80° RC-H-02	No
5	Aspersor de bombeo manual	Teejet 8001-VS	Constante de 0,099 MPa, con regulador CFV Y1116SY	Campana, abanico de 80° RC-H-02	No
6	Aspersor de bombeo manual	Teejet AI110015-VS	Constante de 0,199 MPa, con regulador CFV B1116SY	Campana, abanico de 110°	No
7 *	Aspersor de bombeo manual	Teejet 8001-VS	Sin dispositivo de regulación de presión	Campana, abanico de 80° RC-H-02	No
8 **	Ninguno	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

* Testigo relativo, ** Testigo absoluto—sin control de arvenses. N.A. No aplica.

condición que se logró 15 días después de un corte de las arvenses con guadañadora. La pantalla protectora del equipo eléctrico de pulverización centrífuga es una campana plástica de 37 cm de diámetro que hace parte del modelo comercial, y la de los equipos de bombeo eléctrico y manual es una pantalla plástica en forma de abanico o campana de 80° y de 110° que se adaptó según la referencia de

la boquilla utilizada, las cuales se acoplaron con empaques de goma para que se ajustaran a los reguladores de presión y a las lanzas de aplicación empleadas.

Como variable de respuesta se evaluó el porcentaje de cobertura de arvenses sobre el suelo con la aplicación Canopeo^{®1} (Patrignani & Ochsner, 2015), a los 21, 35 y 60 días

¹ Aplicación desarrollada por el Grupo de Investigación en Física de Suelos de Oklahoma State University Soil, versión 1.1.7. de 2015, para Android.

después de la aplicación (dda) en la Estación Naranjal y en Paraguaicito, 21 35 y 55 dda. En cada unidad experimental se realizaron seis muestreos, los cuales se promediaron para obtener un solo valor por unidad experimental, por cada época de evaluación. Mediante el análisis de regresión lineal simple, se verificó que los resultados de la medición de cobertura de arvenses con la aplicación Canopeo® fuera semejante a la medición visual realizada con el cuadrado de 0,25 m². Como variable complementaria se evaluó la incidencia de plantas sin síntomas de fitotoxicidad por herbicida, a los 21 y 35 dda, y el volumen

de aplicación (agua + herbicida) por parcela, el cual se estimó para una hectárea en 250 L.

Metodología etapa 2

En las dos localidades, la etapa 2 se desarrolló en parcelas cultivadas con café variedades Castillo® y Cenicafé 1, con un área promedio de 2.000 m² de uno a dos años de edad, con una densidad de siembra de 7.142 plantas/ha y grados de la pendiente entre 5% a 30%. Se evaluaron entre 12 a 20 aplicaciones (repeticiones) y seis tratamientos, descritos en la Tabla 3.

Tabla 3. Descripción de tratamientos, equipos y métodos de aplicación de la etapa 2.

Tratamiento	Equipo	Boquilla	Presión	Pantalla	Batería	Número de aplicaciones
1	Aspersor de pulverización centrífuga	De gravedad, caudal 65 cm ³ min ⁻¹	Por gravedad	Campana circular de 37 cm de diámetro, modificada	Litio 3,2 V	12
2	Aspersor de bombeo eléctrico	Teejet 8001-VS	Constante de 0,145 MPa	Campana, abanico de 80°	Ion-Litio recargable 12 VDC	12
3	Aspersor de bombeo manual	Teejet 8001-VS	Constante de 0,145 MPa, con regulador CFV R1116SY	Campana, abanico de 80° RC-H-02	No	12
4	Selector de arvenses con ruedas*	N.A.	Por gravedad, regulada por principio de frasco de Mariotte	Sin pantalla	No	20
5	Selector de arvenses**	N.A.	Por gravedad, regulada por principio de frasco de Mariotte	Sin Pantalla	No	14
6	Aspersor de bombeo manual ***	Teejet 8001-VS	Sin dispositivo de regulación de presión	Campana, abanico de 80° RC-H-02	No	14

* De 35 cm de ancho de aplicación, ruedas de 15,24 cm de diámetro, tubería IPS de 2,54 cm de diámetro y 1,35 m de altura.

** similar al tratamiento 4 pero sin las ruedas, *** testigo. N.A.= no aplica.

En los tratamientos 1, 2, 3 y 6 se usó pantalla protectora y glifosato 480 g L⁻¹ en dosis de 3,0 L ha⁻¹, y en los tratamientos 4 y 5 se aplicó el mismo herbicida, en concentración del 10% (900 cm³ de agua + 100 cm³ de herbicida). Las aplicaciones se realizaron una vez las arvenses alcanzaron una altura entre 10 a 15 cm, lo cual se logró 15 a 21 días después de un corte de las arvenses con guadañadora. La aplicación de herbicida se hizo por focos o parcheos, sobre las arvenses de interferencia alta y media en el cultivo de café, permitiendo el establecimiento de arvenses nobles (Salazar, 2021).

La pantalla protectora del equipo de pulverización centrífuga fue una campana plástica de 37 cm de diámetro similar a la empleada en la etapa 1, pero para esta etapa se le adaptó un protector adicional en forma de ruana plástica, con el fin de disminuir los efectos de fitotoxicidad que pudiese ocasionar al cultivo. La pantalla utilizada en los equipos de aspersión de bombeo eléctrico y manual tiene forma de abanico o campana de 80°, la misma que la utilizada en la etapa 1.

Las variables de respuesta del estudio fueron el tiempo neto (aplicando), tiempo muerto (sin aplicar) y total (aplicando y sin aplicar) empleado en la labor (h ha⁻¹), además del volumen de aplicación (agua + herbicida) y volumen de herbicida empleado por cada aplicación (L ha⁻¹). Como variable complementaria se evaluó el porcentaje de cobertura de arvenses sobre el suelo, medida con la aplicación Canopeo® a los 21 y 35 días después de la aplicación (dda), para esto se realizaron treinta mediciones por parcela, que se promediaron para obtener un solo valor por parcela, en cada época de evaluación.

Análisis estadístico. Para el análisis de la información en ambas etapas se realizó análisis descriptivo (promedios y error estándar) de

las variables respuesta y complementarias. En la etapa 1 se realizó análisis de varianza al 5% para el diseño bloques completos al azar y prueba de comparación de Dunnett al 5%. En la etapa 2 se realizó la prueba t al 5% e intervalos de confianza al 95% para cada tecnología de aplicación, teniendo como repeticiones las aplicaciones por tratamiento.

RESULTADOS

ETAPA 1

Calibración de la medición de cobertura. El porcentaje de cobertura de arvenses obtenido mediante la aplicación móvil Canopeo®, explicó en el 93% el resultado del porcentaje de cobertura de arvenses, medido mediante el método visual con el cuadrado de áreas de 0,25 m² (Figura 1). Lo anterior corrobora que es una herramienta precisa para la evaluación de la cobertura de arvenses en el campo.

Eficacia del control de arvenses. En los diferentes períodos evaluados, tanto en Naranjal como en Paraguaicito, los tratamientos presentaron efecto en el porcentaje de cobertura de arvenses, sin embargo, no se presentaron diferencias estadísticas de los equipos y técnicas de aplicación frente al testigo relativo (tratamiento 7), según la prueba Dunnett al 5% (Figura 2). En ambos sitios, la cobertura de arvenses del tratamiento 8 (testigo absoluto sin aplicación de herbicida) fue mayor que la obtenida con el resto de los tratamientos a los 21 y 35 dda, según la prueba Dunnett al 5% (Figura 2).

Fitotoxicidad al cultivo. El equipo de pulverización centrífuga (tratamientos 1 y 2) propició mayor incidencia de fitotoxicidad por herbicida en las plantas de café en Naranjal, lo que se comprobó solo a los 21 dda, al presentar diferencias estadísticas según la prueba Dunnett al 5% frente al testigo sin

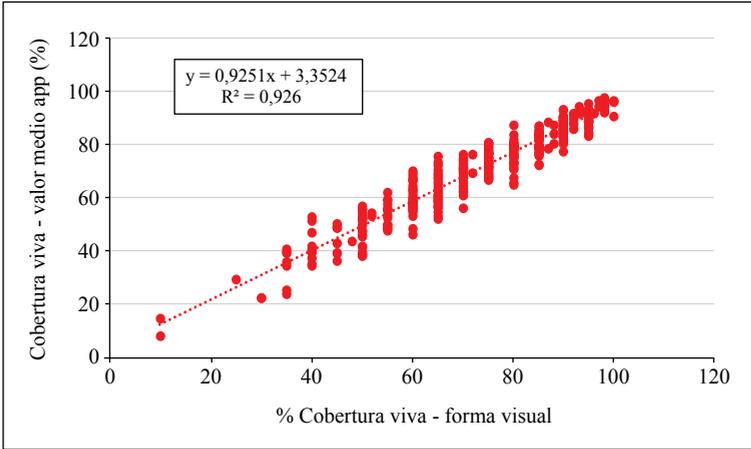


Figura 1. Relación del porcentaje de cobertura de arvenses medidas en forma visual y con la aplicación computacional Canopeo® en la Estación Paraguaicito, a partir de 381 muestreos.

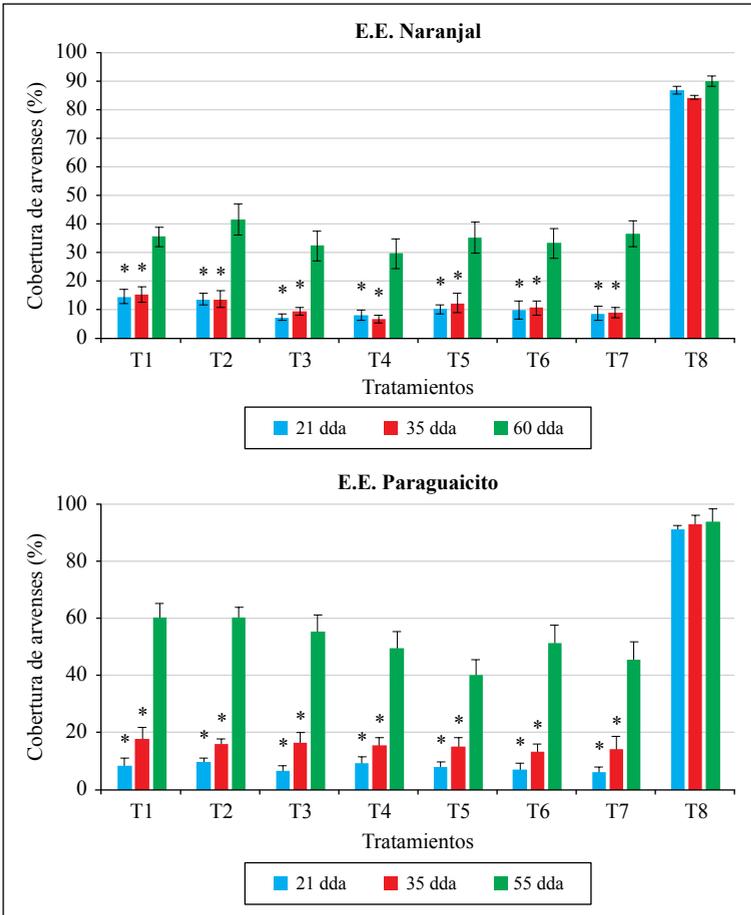


Figura 2. Cobertura de arvenses en el cultivo del café, días después de la aplicación de herbicida (dda) con diferentes equipos y métodos. Las barras indican error estándar. Los asteriscos sobre las barras indican diferencia estadística frente al tratamiento testigo 8, según prueba Dunnett al 5%.

aplicación de herbicida (tratamiento 8) (Figura 3). A los 35 dda no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas al 5% en cuanto a esta variable, se explica que la fitotoxicidad observada a los 21 dda fue leve y las plantas lograron su recuperación a los 35 dda.

Por otro lado, en Paraguaicito el análisis de varianza, con un nivel de significancia del 5%, permitió inferir que los tratamientos no tuvieron efecto sobre la incidencia de fitotoxicidad en las plantas de café. En esta localidad, en condiciones naturales, las plantas expresaron signos que pueden confundirse con

la fitotoxicidad por herbicidas, como: clorosis, necrosis y síntomas de deficiencia de algunos nutrientes, que fueron registrados de igual forma en el tratamiento testigo sin aplicación de herbicida (tratamiento 8), por esta razón en esta localidad fue difícil dilucidar el efecto de los tratamientos sobre esta variable.

Volumen de aplicación. En las Estaciones Naranjal y Paraguaicito el volumen de aplicación fue mayor al utilizar la boquilla de aire inducido (tratamiento 6) (389 y 280 L ha⁻¹, respectivamente) comparado con el tratamiento testigo que utilizó 300 y 200 L ha⁻¹,

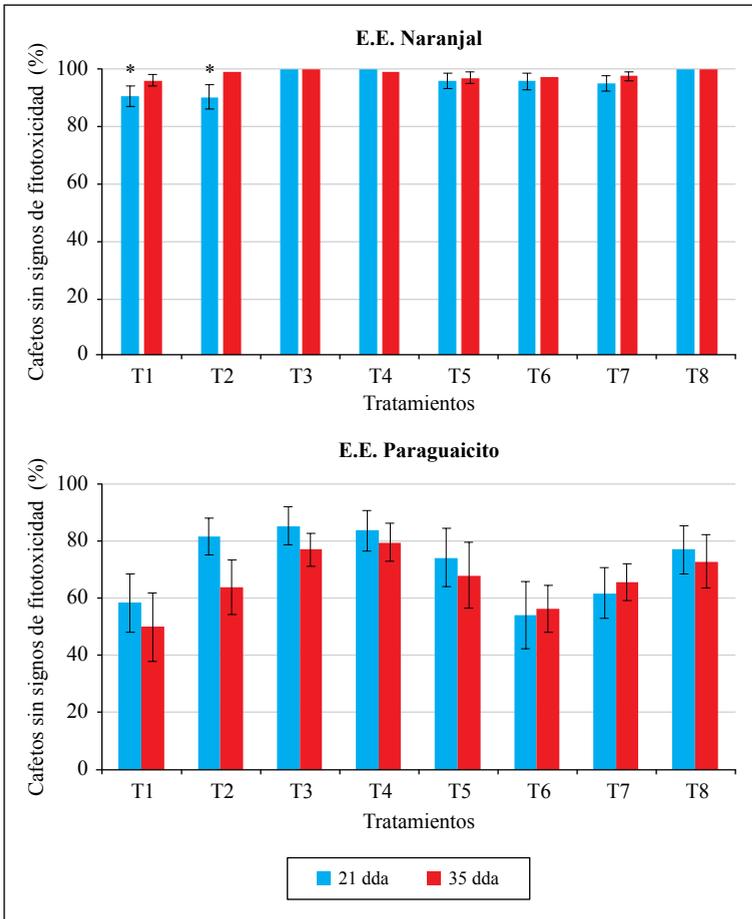


Figura 3. Incidencia de plantas de café sin signos de fitotoxicidad por herbicida, como resultado de la utilización de diferentes equipos y métodos de aplicación. dda: días después de la aplicación. Las barras indican error estándar. Los asteriscos sobre las barras indican diferencia estadística frente al tratamiento testigo 8 según prueba Dunnett al 5%.

respectivamente; mientras que el equipo de pulverización centrífuga (tratamiento 1) obtuvo el menor valor (58 y 42 L ha⁻¹, respectivamente). Además, en Naranjal el equipo de bombeo eléctrico (tratamiento 3) y el uso de reguladores de presión (tratamientos 4 y 5), se diferenció al presentar menor volumen de aplicación respecto al testigo relativo (tratamiento 7), según la prueba Dunnett al 5% (Figura 4). En Paraguaicito el uso de regulador de presión de 0,099 MPa (tratamiento 5), redujo el volumen de aplicación respecto al testigo relativo (tratamiento 7).

ETAPA 2

Eficiencia de la labor. En cuanto al tiempo empleado en realizar la labor (h ha⁻¹), tanto neto (aplicando) como total (aplicando y sin aplicar), no se presentaron diferencias de los tratamientos según prueba t al 5%. Respecto al tiempo muerto (sin aplicar) relacionado con la labor el selector de arvenses con ruedas (tratamiento 4), presentó un menor valor comparado con el testigo (tratamiento 6) (prueba t al 5%). En términos descriptivos, el mayor valor de tiempo empleado en la labor, tanto neto como

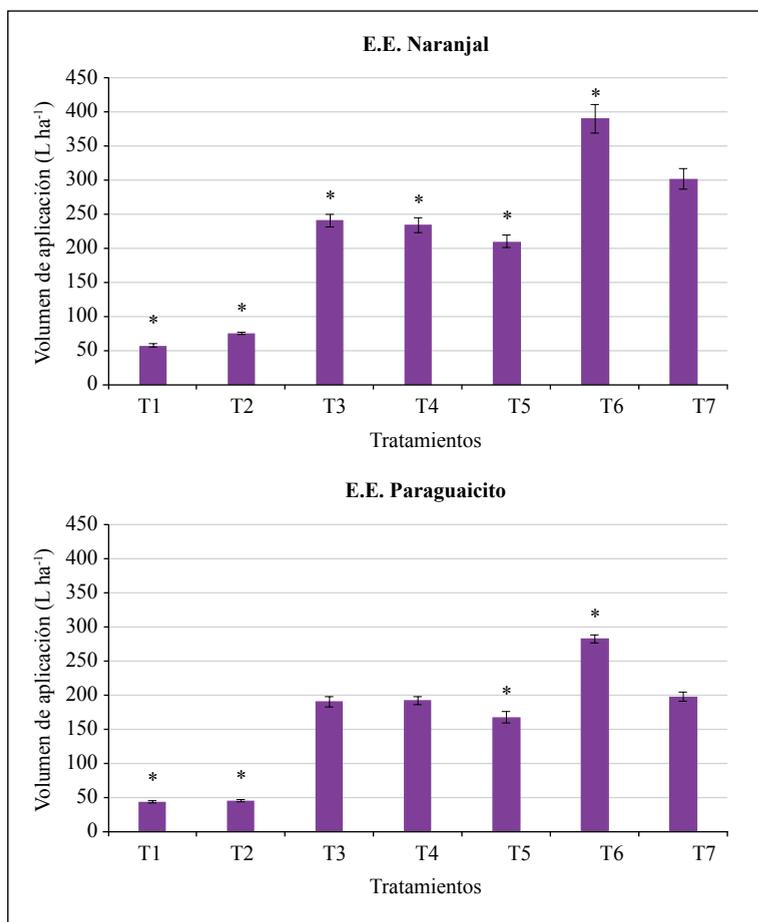


Figura 4. Volumen de aplicación por hectárea estimado para cada tratamiento en condiciones de las EE Naranjal y Paraguaicito. Las barras representan el error estándar. Los asteriscos sobre las barras indican diferencia estadística frente al tratamiento testigo 7 según prueba de Dunnett al 5%.

total, fue para el tratamiento 1 (36,6 h ha⁻¹ y 40,8 h ha⁻¹, respectivamente) y el menor valor para el tratamiento 3 (27,4 h ha⁻¹ y 30,3 h ha⁻¹, respectivamente) (Figura 5). El mayor valor empleado en tiempo muerto relacionado con el equipo o método de aplicación fue para el tratamiento 1 (4,2 h ha⁻¹) y el menor valor fue para el tratamiento 4 (2,2 h ha⁻¹) (Figura 5).

Volumen de aplicación y de herbicida. De acuerdo con la prueba t al 5% pudo inferirse que el volumen de aplicación fue menor para los tratamientos 4, 5 y 1 (20,7; 30,6 y 108,2 L ha⁻¹, respectivamente) (Figura 6) los cuales fueron diferentes al testigo relativo (tratamiento 6) (325,4 L ha⁻¹). Referente al volumen de herbicida, la calibración previa a la aplicación de los tratamientos 1, 2, 3 y 6 fue realizada para la aspersión de 3,0 L ha⁻¹ de producto comercial de glifosato, alcanzado el promedio determinado (Figura 7). El tratamiento de selector de arvenses con ruedas (tratamiento 4) presentó menor valor de uso de herbicida (2,2 L ha⁻¹) que el testigo (tratamiento 6) (3,4 L ha⁻¹).

El tratamiento 2 presentó, tanto en Naranjal como en La Trinidad, un daño reiterado en el manómetro, que cumple la función de regulador de la presión, por lo tanto, en diferentes momentos la presión de salida, a pesar que el manómetro indicaba la presión de 0,145 MPa, el volumen de aplicación correspondía al realizado a una presión mayor a 0,275 MPa (40 psi), por esto se derivó en el mayor valor promedio de uso de herbicida por hectárea (3,9 L ha⁻¹), lo anterior se consideró como un defecto propio del equipo, que se repitió en dos equipos diferentes y en las dos localidades donde se llevó a cabo la evaluación.

Fitotoxicidad al cultivo. En términos descriptivos, el equipo de pulverización centrífuga (tratamiento 1), al igual que lo encontrado en la etapa 1, propició la mayor incidencia promedio de fitotoxicidad por herbicida en las plantas de café (Figura 8); no obstante, el intervalo de confianza al 95% no evidenció diferencia de este tratamiento frente al intervalo alcanzado por el testigo (tratamiento 6).

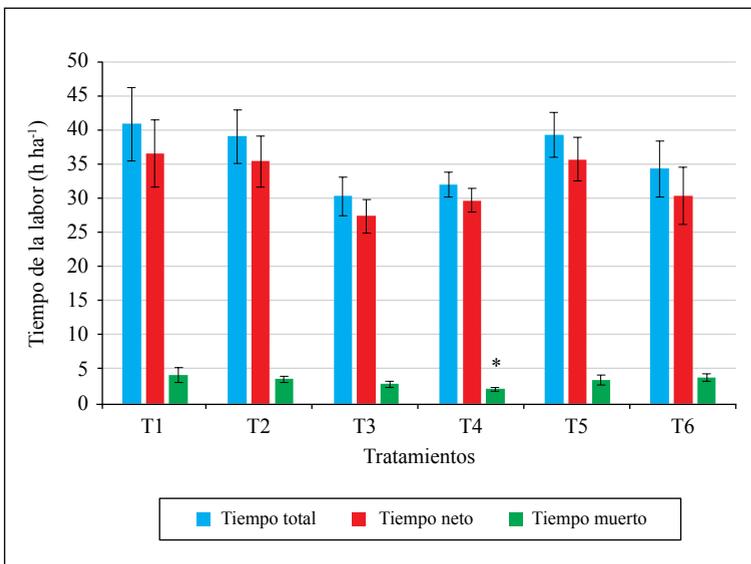


Figura 5. Tiempo promedio empleado en la labor, con diferentes tratamientos. Las barras representan el error estándar. Asteriscos sobre las barras indican diferencia estadística con el tratamiento testigo 6 según prueba t al 5%.

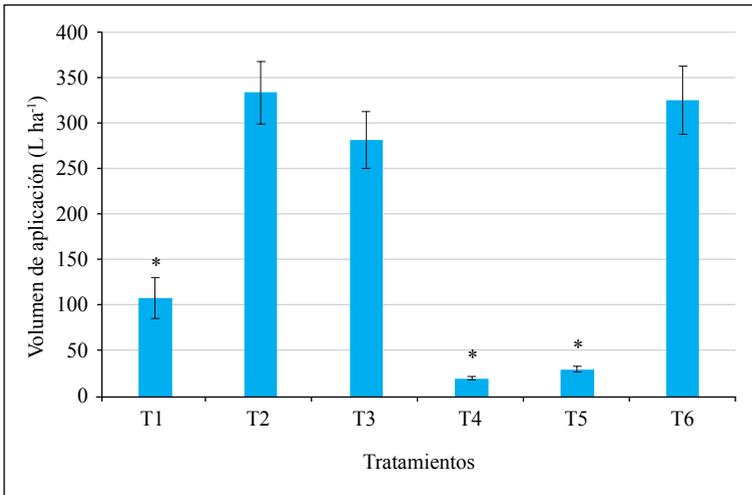


Figura 6. Volumen de aplicación por hectárea para cada tratamiento. Las barras indican el error estándar. Asteriscos sobre las barras indican diferencia estadística con el tratamiento testigo (tratamiento 6) según prueba t al 5%.

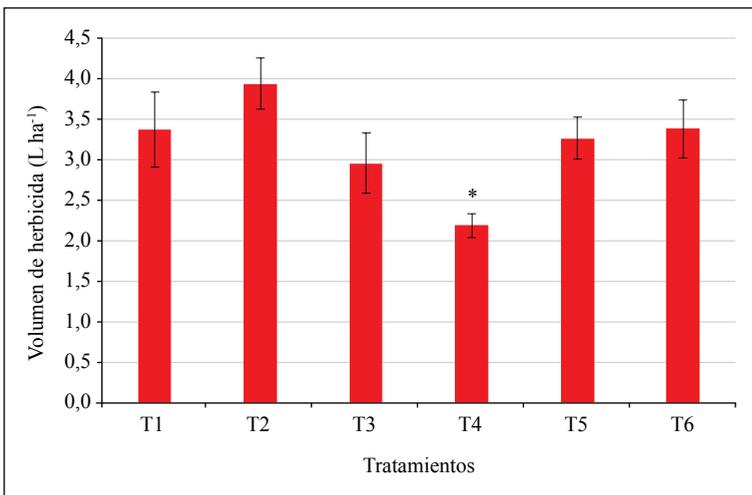


Figura 7. Volumen de herbicida por hectárea para cada tratamiento. Las barras indican el error estándar. Asteriscos sobre las barras indican diferencia estadística con el tratamiento testigo 6 según prueba t al 5%.

Cobertura de arvenses. A los 21 dda, de acuerdo con la prueba t al 5%, en los tratamientos 1, 2 y 3 se obtuvo similar valor de cobertura de arvenses en comparación con el tratamiento 6, mientras que los tratamientos 4 y 5 superaron al tratamiento testigo (tratamiento 6), con valores de cobertura alrededor del 50%, valor que es favorable en la conservación del suelo (Figura 9). Igual

comportamiento se presentó a los 35 dda, los tratamientos 1, 2 y 3 alcanzaron valores de cobertura de arvenses similares a los del tratamiento testigo (tratamiento 6); mientras que los tratamientos 4 y 5 superaron el valor promedio de cobertura del testigo (tratamiento 6) hasta alcanzar valores entre 60% a 70%, siendo esto algo deseable dentro del programa de MIA.

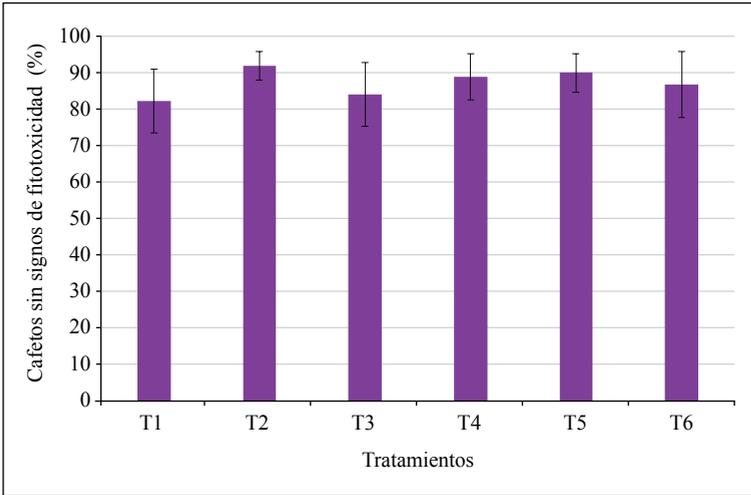


Figura 8. Incidencia de fitotoxicidad por herbicida, como resultado de la utilización de diferentes equipos y métodos de aplicación. Las barras indican el intervalo de confianza al 95%.

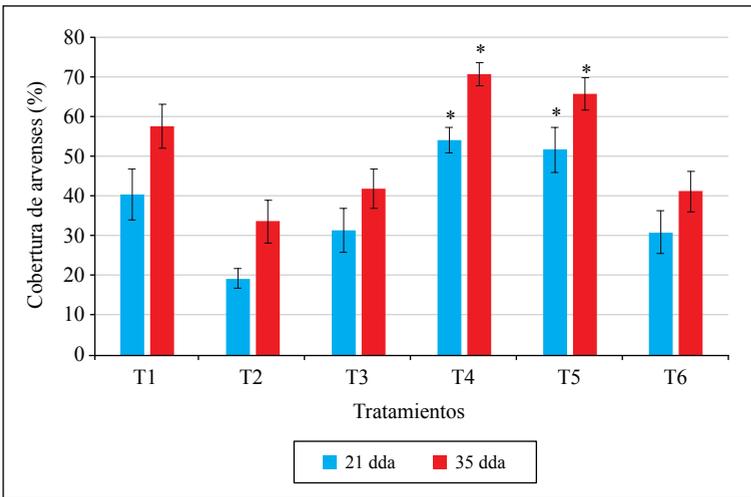


Figura 9. Cobertura de arvenses en el cultivo del café, días después de la aplicación (dda) de herbicida con diferentes equipos y métodos en el MIA. Las barras indican el error estándar. Asteriscos sobre las barras indican diferencia estadística con el tratamiento testigo (tratamiento 6) según prueba t al 5%.

DISCUSIÓN

En la etapa 1, donde se realizaron aspersiones generalizadas sobre las arvenses, ninguno de los tratamientos superó al testigo relativo (tratamiento 7), en cuanto a la eficacia en la reducción de la cobertura de arvenses. En síntesis, se demuestra que las tecnologías evaluadas son viables en el control de

arvenses. En esta investigación se hallaron resultados semejantes a los de De Cauwer et al. (2023) y Pitty et al. (2010), quienes no encontraron diferencia en la eficacia del control de arvenses con glifosato, al utilizar boquilla de aire inducido (AI110 03VS) frente a la boquilla de abanico (XR110 03VS), a pesar de que hubo diferencia en el tamaño de la gota y volumen de aplicación entre ambas

tecnologías. Con respecto a lo encontrado, debe tenerse en cuenta que al realizar la calibración y regular, tanto la presión como la velocidad de aplicación, el uso de equipos de palanca sin válvula reguladora de presión (testigo relativo) permite un control eficaz de arvenses, más aún en condiciones experimentales controladas.

En esta misma etapa, puede resaltarse que el equipo de bombeo eléctrico con una presión regulada de 0,145 MPa, y el de bombeo manual con el uso de reguladores de presión de 0,145 y 0,099 MPa, fueron viables para la aplicación de herbicidas, porque se relacionaron con la baja incidencia de fitotoxicidad del cultivo y con el ahorro de agua en la aplicación. No obstante, se observó que el uso del regulador de 0,099 MPa (14 psi), posiblemente debido a la alta retención de la presión en el sistema de conductos del dispositivo, generaba constantes daños en las mangueras y accesorios del equipo.

Por otro lado, el uso de la boquilla AI110015-VS generó el mayor volumen de aplicación con relación al testigo relativo, similar a lo encontrado por De Cauwer et al. (2023), y se tradujo en mayor consumo de agua por hectárea, situación que no es recomendable en condiciones de la región cafetera de Colombia, donde este recurso debe utilizarse de manera racional y el transporte de altos volúmenes de agua hacia los lotes ubicados en condiciones de alta pendiente y distantes, se hace difícil. La boquilla de aire inducido (AI) presenta mayor cantidad de gotas grandes, comparado con la de abanico Teejet 8001, lo anterior se debe a la mezcla del agua con aire al interior de la boquilla, haciendo que a presión de 0,199 MPa (29 psi) tenga gotas extremadamente grandes (Pitty et al., 2010; Spraying Systems Co. 2004), generando así la cualidad de antideriva típica de la boquilla. También fue evidente que el uso de la boquilla AI representó desde el origen, unas características de descarga, ángulo y presión

de salida mayor, que la hicieron desventajosa frente al testigo relativo, razón adicional para el mayor volumen de aplicación encontrado.

El equipo eléctrico de pulverización centrífuga en la Estación Naranjal, se relacionó con la mayor incidencia de fitotoxicidad al cultivo, por esta razón debe considerarse que, durante su utilización deben reducirse las posibilidades de deriva al cultivo, restringir su utilización solo a parcheos sobre arvenses de interferencia alta y no utilizarlo en aplicaciones generalizadas. La implementación en todos los tratamientos de la pantalla protectora, la regulación de la altura de la boquilla entre 20 a 30 cm sobre el suelo, la ubicación de la boquilla en el sentido de calle, garantizar las arvenses a una altura inferior a 15 cm en el momento de la aplicación, la capacitación de los operarios y tener en cuenta las condiciones de clima, fueron factores que pudieron estar relacionados con la baja incidencia de fitotoxicidad encontrada en los distintos tratamientos.

En la etapa 2, en el MIA, donde se realizaron parcheos selectivos sobre las arvenses de interferencia alta y media con el cultivo del café, el tiempo de aplicación por hectárea, tanto neto como total, con todos los tratamientos empleados, fue similar al testigo (tratamiento 6). El hecho de que el operario tuviese una mano libre y que evitara el bombeo con la palanca en los tratamientos 1 y 2, no se reflejó en un uso más eficiente del tiempo, con relación al tratamiento testigo tratamiento 6. Se observó mayor pericia de los operarios al manejar equipos convencionales de palanca, que con aquellos que contaban con implementos eléctricos, lo anterior, debido a que los primeros son utilizados con más frecuencia en las labores agrícolas cotidianas.

Para el MIA, el equipo de bombeo eléctrico, en términos descriptivos, propició el mayor volumen de aplicación y de herbicida, y el

más bajo promedio de cobertura de arvenses sobre el suelo, esto posiblemente debido al daño frecuente del sistema de regulación de presión que el equipo presentó en ambas localidades, problema que no se manifestó en la etapa 1 de la investigación. Es probable, tal como lo reportan Sinha et al. (2018), que este tipo de equipo de bombeo eléctrico sea más eficiente a mayor presión (0,28 MPa) que la utilizada en la presente investigación (0,145 MPa).

Se resalta el menor tiempo muerto alcanzado con el selector con ruedas, lo anterior posiblemente debido a que fue necesario emplear menor tiempo en mantenimiento por daños y obstrucciones del equipo, y que al demandar menor volumen de agua requirió menor tiempo en desplazamiento hasta el sitio de recarga y menor tiempo en el abastecimiento.

Los selectores de arvenses (tratamientos 4 y 5), tanto el recomendado por Cenicafé como el dispositivo con ruedas, presentaron los volúmenes por hectárea más bajos de aplicación (20 y 30 L ha⁻¹, respectivamente), seguido por el equipo eléctrico de pulverización centrífuga (100 L ha⁻¹), siendo eficientes en el uso del agua y considerados como aplicaciones de muy bajo volumen a bajo volumen, respectivamente (Matthews et al., 2014; Guamán et al., 2022).

El selector de arvenses con ruedas, en las condiciones del estudio, utilizó menor volumen de herbicida (2,2 L ha⁻¹) que el selector de arvenses que es recomendado actualmente por Cenicafé, con 3,3 L ha⁻¹ (Salazar, 2015) y que el tratamiento testigo (tratamiento 6) con 3,4 L ha⁻¹, de modo que es adecuado dentro del MIA, que busca el uso racional de herbicidas. El menor movimiento al que está expuesto el selector de arvenses con ruedas, comparado con el selector de arvenses convencional, se debe principalmente a que el primero permanece a una altura del suelo poco variable, lo que

podría explicar el menor volumen de aplicación y de herbicida requerido.

Los selectores de arvenses en el MIA generaron mayor cobertura promedio de arvenses sobre el suelo, la cual estuvo constituida por arvenses nobles principalmente (Salazar, 2021), comparado con los equipos de aspersión de bombeo eléctrico y de bombeo manual, lo cual es deseable para la conservación del suelo. En esta etapa, no se presentaron diferencias en cuanto a la incidencia por fitotoxicidad al café; no obstante, la aplicación de glifosato con cualquier equipo o método debe hacerse de manera cuidadosa, para disminuir el riesgo de daño al cultivo y prevenir efectos en la salud de los operarios (Gómez y Rivera, 1994; Castanheira et al., 2019).

En el MIA, el uso del regulador de presión de 0,145 MPa (21 psi) en el equipo de aspersión de bombeo manual (tratamiento 3) fue consistente con la calibración previa a la aplicación, siendo el único equipo de aspersión que en promedio se acercó a la dosis de herbicida objetivo de 3,0 L ha⁻¹, en consecuencia, el uso de las válvulas CFV es una ventaja, corroborada por McAuliffe & Gray (2002) y Moreno Mena (2011).

AGRADECIMIENTOS

En Cenicafé a Carlos Gonzalo Mejía M.Sc., líder de la Disciplina de Experimentación y a Siavosh Sadeghian Ph.D., líder de la disciplina de Suelos. A Fabio Alexis Torres Angarita M.Sc. por su asesoría en la formulación de la propuesta de investigación y al tecnólogo Sebastián García por su colaboración en el procesamiento de datos en las primeras etapas de la investigación. A Jhon Anderson Bartolo Becerra, pasante de la Universidad de Caldas por su colaboración. A Yesenia Muñoz, Arturo Gómez Valencia, Diego Osorio y Gildardo Salinas por su apoyo en las labores de campo.

Esta investigación fue financiada por recursos propios: Proyecto SUE 103006.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización, Curación de datos, Investigación, Redacción- borrador original,

Análisis formal, Metodología, Adquisición de fondos: LFS; Supervisión, Visualización, Administración de proyecto, Redacción-revisión y edición: LFS, MCH, DAF, JFT; Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2022). Informe Anual Cenicafé 2022. <https://doi.org/10.38141/10783/2022>
- Castanheira, D. T., Alecrim, A. de O., Voltolini, G. B., Rezende, T. T., Netto, P. M., & Guimarães, R. J. (2019). Growth, anatomy and physiology of coffee plants intoxicated by the herbicide glyphosate. *Coffee Science*, 14(1), 76–82. <https://coffeescience.ufpa.br/index.php/Coffeescience/article/view/1530>
- Combella, J. H., Westen, N. M., & Richardson, R. G. (1996). A comparison of the drift potential of a novel twin fluid nozzle with conventional low volume flat fan nozzles when using a range of adjuvants. *Crop Protection*, 15(2), 147–152. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(95\)00089-5](https://doi.org/10.1016/0261-2194(95)00089-5)
- Dale, J. E. (1979). A Non-Mechanical System of Herbicide Application with a Rope Wick. *PANS*, 25(4), 431–436. <https://doi.org/10.1080/09670877909414367>
- De Cauwer, B., De Meuter, I., De Ryck, S., Dekeyser, D., Zwertvaegher, I., & Nuyttens, D. (2023). Performance of Drift-Reducing Nozzles in Controlling Small Weed Seedlings with Contact Herbicides. *Agronomy*, 13(5), 1342. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051342>
- Doll, J., & Fuentes, C. (1981). *Factores que condicionan la eficacia de los herbicidas*. (2a ed.). CIAT. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/28803>
- Fee, C. G., Siang, C. S., & Ramalingam, B. (1999). Evaluation of 3 types of knapsack equipment for spraying cypermethrin to control *Adoretus compressus* and *Oryctes rhinoceros* in immature palms. *Proceedings of the 5th International Conference on Plant Protection in the Tropics*. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Gómez, A., & Rivera, H. (1994). Aplicación segura de los herbicidas en el manejo integrado de malezas. *Avances Técnicos Cenicafé*, 205, 1–4. <http://hdl.handle.net/10778/1064>
- Guamán Ilvis, G. V., Andrade Yarpas, M. D., Carrera Oscullo, P. D., & Taco Ugsha, M. Á. (2022). Aplicación integral de herbicidas mediante selector en cultivos de cacao en Sucumbios—Ecuador. *Green World Journal*, 5(2), 17. <https://doi.org/10.53313/gwj520018>
- Johnstone, D. R., Johnstone, K. A., & Andrews, M. (1977). Performance Characteristics of a Hand-carried Battery-operated Herbicide Sprayer. *PANS*, 23(3), 286–292. <https://doi.org/10.1080/09670877709412453>
- Matthews, G. A., Bateman, R., & Miller, P. (2014). *Pesticide application methods* (4a ed.). Wiley Blackwell.
- McAuliffe, D., & Gray, V. P. (2002, febrero 13-16). Application Technology Problems and Opportunities with Knapsack Sprayers including the CF Valve or Constant flow Valve. En Fernández-Northcote E. N. (Ed.), *Memorias del taller internacional Complementando la resistencia al tizón (Phytophthora infestans)* (pp. 81–91). Centro Internacional de la Papa.
- Mohan, S. S., Ajay, A., & Kishore, A. (2021). Plant Protection Equipments. En S. V. S. Raju & K. R. Sharma (Eds.), *Recent Trends in Insect Pest Management* (pp. 101–122). AkiNik Publications. <https://doi.org/10.22271/ed.book.1234>
- Moreno Mena, J. M. (2011). *Manual Mantenimiento y calibración de aspersoras manuales en pequeños cultivos de banano y plátano*. Asociación de Bananeros de Colombia.
- Patrignani, A., & Ochsner, T. E. (2015). Canopeo: A Powerful New Tool for Measuring Fractional Green Canopy Cover. *Agronomy Journal*, 107(6), 2312–2320. <https://doi.org/10.2134/agronj15.0150>

- Pfalzer, H. (2004). Spraying Equipment for Coffee. En *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production* (pp. 565–589). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9783527619627.ch21>
- Pitty, A., Barrios, E. E., & Reconco, R. (2010). Boquillas de Abanico Plano de Amplio Espectro y por Aire Inducido en la Eficacia de Glifosato y Paraquat. *Ceiba*, 51(2), 54–60. <https://doi.org/10.5377/ceiba.v51i2.1107>
- Rivera, H. (2000). El selector de arvenses modificado. *Avances Técnicos Cenicafé*, 271, 1–4. <http://hdl.handle.net/10778/4188>
- Spraying Systems. (2004). *Guía del Usuario de Boquillas de Pulverización* [Manual]. TeeJet. <http://www.aerocampo.com/pdf/guia-del-pulverizador.pdf>
- Salazar-Gutiérrez, L. F. (2015). Uso del selector de arvenses en cultivos de café: Recomendaciones prácticas. *Avances Técnicos Cenicafé*, 462, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0462>
- Salazar-Gutiérrez, L., Hincapié, É., Menza, H. D., & Torres, F. A. (2020). Manejo de arvenses en los sistemas de producción de café. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *Manejo Agronómico de los Sistemas de Producción de Café* (pp. 150–196). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0002_5
- Salazar-Gutiérrez, L. (2021). *Arvenses frecuentes en el cultivo del café en Colombia*. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0015>
- Schrübbers, L. C., Valverde, B. E., Sørensen, J. C., & Cedergreen, N. (2014). Glyphosate spray drift in *Coffea arabica*—Sensitivity of coffee plants and possible use of shikimic acid as a biomarker for glyphosate exposure. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 115, 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.08.003>
- Sinha, J. P., Singh, J. K., Kumar, A., & Agarwal, K. N. (2018). Development of solar powered knapsack sprayer. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 88(4), 590–595. <https://doi.org/10.56093/ijas.v88i4.79122>
- Sinha, Y., Chauhan, J., Tandan, J., Patel, K., & Kaushik, S. P. (2019). Development of Multipurpose Battery Operated Wheel Sprayer. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(11), 1766–1772. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.811.207>
- Westwood, J. H., Charudattan, R., Duke, S. O., Fennimore, S. A., Marrone, P., Slaughter, D. C., Swanton, C., & Zollinger, R. (2018). Weed Management in 2050: Perspectives on the Future of Weed Science. *Weed Science*, 66(3), 275–285. <https://doi.org/10.1017/wsc.2017.78>