




CONTAMINACIÓN DE OPERARIOS CON EQUIPOS DE ASPERSIÓN DURANTE APLICACIONES PARA EL CONTROL DE LA BROCA DEL CAFÉ

Anibal Arcila Moreno *, Diógenes Alberto Villalba-Gault **, Esther Cecilia Montoya Restrepo ***, Pablo Benavides Machado ****

Arcila-Moreno, A., Villalba-Gault, D. A., Montoya, E. C., & Benavides Machado, P. (2023). Contaminación de operarios con equipos de aspersión durante aplicaciones para el control de la broca del café. *Revista Cenicafé*, 74(1), e74103. <https://doi.org/10.38141/10778/74103>



Esta investigación tuvo como fin determinar la contaminación de operarios de equipos de aspersión durante aplicaciones para el control de la broca del café. Se seleccionaron lotes de café productivos en la Estación Experimental La Catalina (Pereira, Risaralda). Se evaluaron los equipos: presión hidráulica de espalda, presión previa retenida 40-100-10, presión previa retenida con aguilón vertical, motorizado de espalda con bomba de presión y semiestacionario motorizado. El estudio se realizó en dos momentos del día, con cinco operarios a la vez. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar y diez repeticiones por equipo. A cada operario se le colocaron 39 tarjetas de papel kromacote en diferentes partes del traje de protección: gorra, monogafas, careta, overol, guantes y botas. Como colorante se utilizó azul de metileno técnico al 1%. Las tarjetas fueron digitalizadas y bajo un programa de análisis de imagen Scilab 5.4.0 en Linux se determinó el porcentaje de área de la tarjeta cubierta por la aspersión y el número de gotas por tarjeta. Los resultados mostraron una exposición a los plaguicidas en todos los elementos del traje de protección, sin embargo, la careta y monogafas tuvieron la menor contaminación; los guantes y la gorra tuvieron la mayor exposición. El equipo motorizado de espalda deposita la menor cantidad de producto en el operario durante la aspersión; caso contrario, con el equipo de presión previa retenida con aguilón vertical, que produjo la mayor contaminación sobre el operario.

Palabras clave: Cultivo de café, *Hypothenemus hampei*, técnicas de aspersión, presión previa retenida, semiestacionario, aspersora, aguilón vertical, elementos de protección personal, Cenicafé.

OPERATOR CONTAMINATION WITH SPRAYING EQUIPMENT DURING APPLICATIONS TO CONTROL COFFEE BERRY BORER

This research aimed to determine the contamination of spraying equipment on operators during applications to control coffee berry borer. Productive coffee plots were selected at La Catalina Experimental Station in the municipality of Pereira (Risaralda). The evaluated equipment were: hydraulic back sprayer with lever, retained pre-compression 40-100-10, retained pre-compression with vertical sprayers and semi-stationary hydraulic motorized back sprayer. The study was carried out in two moments during the day with five operators at the time. A randomized complete block design with 10 repetitions per equipment was used. Thirty-nine kromekote paper cards were placed on each operator in different parts of a protective suit: cap, operator glasses, mask, overall, gloves and boots. As a colorant, 1% technical methylene blue was used. The cards were digitized and the percentage of the card area covered by the spray and the number of drops per card were determined through a Scilab 5.4.0 image analysis program in Linux. The results showed an exposure to pesticides in all the elements of the protective suit. However, the mask and the operator glasses had the least contamination; while the gloves and the cap had the highest exposure. The hydraulic motorized back sprayer equipment deposits the least amount of product on the operator during spraying. In contrast, the retained pre-compression with vertical sprayers equipment produces the greatest contamination on the operator.

Keywords: Coffee cultivation, *Hypothenemus hampei*, spraying techniques, retained pre-compression, semi-stationary, sprayer, vertical boom, personal protective equipment, Cenicafé.

* Asistente de Investigación. Disciplina de Entomología, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-4276-0521>

** Ingeniero agrónomo M.Sc.

*** Investigador Senior. Gerencia Técnica, Federación Nacional de Cafeteros. <https://orcid.org/0000-0001-5891-1040>

**** Investigador Científico III. Disciplina de Entomología, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-2227-4232>



En Colombia, el cultivo del café por tradición no había recurrido a la aplicación de plaguicidas; con la llegada de la broca en el año 1988, para su control se hizo necesario el uso de la tecnología de aplicación y equipos de aspersión existentes (Villalba-Gault, 2008). La selección de los equipos depende de diversos factores, entre ellos, características topográficas de los lotes, área de los cultivos, costo de los equipos, facilidad de uso y disponibilidad de mano de obra. Los principales equipos de aspersión que se utilizan en la zona cafetera son de presión previa retenida, aspersoras hidráulicas de espalda operadas bien sea manualmente (palanca) o accionadas por motor y equipos motorizados semiestacionarios (Benavides Machado et al., 2013). Estos equipos utilizan altos volúmenes de aspersión (superiores a los 200 L ha⁻¹) y utilizan boquillas que producen tamaños de gotas muy variables, lo que conlleva a pérdidas por deriva y escurrimiento (Bustillo-Pardey, 2007; Flórez et al., 1997).

La exposición de los operarios a los plaguicidas depende de tres elementos fundamentales: tipo de producto a aplicar, manipulación y proceso de aplicación (Matthews, 2002); sin embargo, Behmer (1998) y Baharuddin et al. (2011) confirman la relevancia del equipo de aplicación, volumen de aspersión, tiempo de aplicación y equipo de protección. La piel es la vía de exposición más importante (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2002; MacFarlane et al., 2013); es así como Leiva (1997) menciona que la absorción de los plaguicidas a través de la piel varía en intensidad, de acuerdo con la zona del cuerpo considerada, por ejemplo, la cabeza (cuero cabelludo, frente y ojos) puede absorber el 40%, los brazos el 60%, mientras que en el bajo vientre puede absorber hasta el 100%.

El uso de elementos de protección personal (EPP) puede disminuir el riesgo de intoxicación

por exposición dérmica, ocular u oral (Fishel, 2018); por ello, la importancia de los EPP. Behmer (2001) al determinar la eficiencia de una prenda de protección sectorizada durante una aspersión en un huerto frutal, encontró que existen partes del cuerpo con menor riesgo de contaminación, por ello es posible el uso de indumentaria con zonas de protección diferenciada. Gilbert & Bell (1990) afirman que el equipo de protección debe cubrir todas las partes del cuerpo con riesgo de exposición, las cuales involucran generalmente al cuerpo entero, pero en especial la cara, manos y pies. Una investigación en Argentina, sobre las zonas de deposición de agroquímicos en el cuerpo de los operarios durante aplicaciones foliares en diferentes cultivos hortícolas, demostró que, si bien la exposición es en todo el cuerpo, se obtuvieron diferentes distribuciones de los residuos, siendo las piernas las más contaminadas, por lo tanto, según el estudio, es necesario contar con elementos de protección que cubran el cuerpo en su totalidad (Bulacio et al., 2007). En Costa Rica, un estudio de aplicaciones en el cultivo de *Sechium edule* (cidra), encontró que las regiones del cuerpo del operario con mayor exposición a los plaguicidas fueron las manos, rostro y cuello (Medina-Escobar et al., 2014). Airey (1990) menciona que los conjuntos de chaqueta y pantalón impermeables resultan adecuados desde el punto de vista de la protección.

En cuanto al efecto de los equipos de aspersión sobre la contaminación de los operarios, en general, se indica que los equipos manuales generan una mayor exposición a los plaguicidas que con otras técnicas de aplicación, en donde el operador no está en contacto directo con la nube asperjada (Nurulain et al., 2017). Machado Neto (1990) al evaluar la contaminación de los operarios que aplican en tomate, señalan que con equipos de palanca, las partes del cuerpo más expuestas son las

piernas, con lo cual sugiere la conveniencia de emplear ropa protectora acorde con la técnica de aplicación utilizada por el operario. En ese mismo sentido, Matthews (2002) indica que en aplicaciones con equipos de espalda, las manos se contaminan el 20%, las piernas el 50% y el resto del cuerpo, el 30%. En un cultivo de invernadero de tres metros de alto, al comparar la contaminación de trabajadores que usaron un equipo manual con un aguilón con cuatro boquillas, frente a los que manejaron un tractor con dos aguilonos (uno a cada lado) y cuatro boquillas por aguilón, encontraron mayor contaminación en el primer caso (Balloni et al., 2008). De igual forma, la presión de trabajo de los equipos pareciera ser muy importante, es así como Macherá et al. (2003) al estudiar la contaminación en operarios de un cultivo de tomate en invernadero, encontraron que con una baja presión (43,5 psi) el total del volumen contaminante recuperado por operario, estuvo entre 25,4 y 35,8 cm³ h⁻¹, mientras al usar presión alta (261,0 psi) el volumen recuperado por operario fue de 160,8 a 283,4 cm³ h⁻¹, con lo cual concluyen que el grado de exposición del operario se incrementa con el aumento de la presión. En cuanto a la influencia del tipo de boquillas, la deposición de plaguicidas en diferentes partes del cuerpo, fue mayor con boquillas de cortina o abanico, seguido por cono hueco y la menor contaminación con boquillas de baja deriva, en resumen, la exposición total del operario puede reducirse del 21,3% al 46,8% mediante el uso de boquillas de baja deriva en aplicaciones de plaguicidas (Yarpuz-Bozdogan & Bozdogan, 2009).

El objetivo del presente estudio fue conocer el grado de exposición de los EPP a los insecticidas durante aspersiones para el control de la broca del café. Adicionalmente, los resultados permitirán obtener información pertinente para dirigir estudios de nuevas tecnologías de aplicación y recomendar a los caficultores los elementos de protección

necesarios que deben usar los operarios en las actividades de aspersión en el cultivo del café.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El experimento se realizó en la Estación Experimental La Catalina (Cenicafé), ubicada en la vereda El Retiro, municipio de Pereira (Risaralda, Colombia), a 04° 45' de latitud Norte, 75° 44' de longitud Oeste y altitud de 1.321 m. Se tomó un lote de café variedad Colombia, renovado por siembra, de cuatro años de edad; sembrado a libre exposición solar, con densidad de siembra de 5.000 árboles por hectárea y pendiente del terreno menor al 40%.

Metodología. Como tratamientos fueron evaluados cinco equipos de aspersión (Tabla 1), cada equipo fue operado por cinco trabajadores. La unidad de trabajo por operario y equipo consistió en una jornada laboral completa de ocho horas, en dos periodos de trabajo, de 7 am a 11 am y de 1 pm a 5 pm. La unidad de muestreo la conformaron 39 tarjetas de papel Kromacote, de 20 cm² (5x4 cm), puestas al inicio de cada periodo y retiradas al final del mismo. En total, se evaluaron 78 tarjetas/operario/día. Los equipos fueron asignados a los operarios bajo un diseño de bloques completos al azar, donde el factor de bloqueo fue el operario.

Procedimiento. Las tarjetas fueron debidamente identificadas y distribuidas en diferentes partes de los elementos de protección del operario (en la parte anterior y posterior del cuerpo): gorra, monogafas, protector respiratorio (careta), overol, guantes (protegiendo solo las manos) y botas (protegiendo solo los pies). En el caso del overol se diferenciaron dos partes: parte superior o tronco y brazos (cubriendo hasta la muñeca, el guante iba por dentro de la manga) y piernas (cubriendo hasta el tobillo, la caña de la bota iba por dentro de la manga

Tabla 1. Descripción de los equipos de aspersión a evaluar.

Equipo	Marca	Boquilla	Flujo boquilla (cm ³ min ⁻¹)
Presión hidráulica de espalda (palanca)	Royal Cóndor	RC 350B 101X	350 ¹
Presión previa retenida (PPR)	Triunfo 40-100-10	TXVS3	200 ¹
Presión previa retenida con aguilón vertical (PPR+AV)	Triunfo 40-100-10	TXVS3	800 ²
Motorizado de espalda con bomba de presión	Maruyama MS 056	D – 35	1.400 ³
Semiestacionaria motorizada	Maruyama MS 253	D – 35	1.400 ³

¹ A una presión de 40 psi. ² Descarga de 4 boquillas a 40 psi. ³ Descarga de 2 discos y 213 psi.

del pantalón). Se usó cinta de enmascarar de 2 pulgadas de ancho para adherir las tarjetas a las diferentes partes del equipo de protección. Como colorante se utilizó azul de metileno en grado técnico al 1%.

Los operarios fueron seleccionados entre el personal que se dedica a las labores de aspersión de la Estación Experimental y previamente fueron capacitados en las aplicaciones a realizar. Cada equipo se calibró con cada uno de los operarios con el fin de asegurar un volumen de aplicación por árbol aproximado de 50 cm³. Primero, se determinó el flujo de la boquilla, luego se colocó una cantidad conocida de agua y se estableció el número de árboles asperjados por minuto, asegurando que el operario realizara la aplicación de acuerdo al sistema definido para cada equipo.

El sistema de aplicación empleado dependió de los equipos utilizados. Con el equipo de palanca, PPR y PPR+AV, se usó el sistema de aplicación de dos medias caras (surco del operario). Con el equipo motorizado de

espalda, se utilizó el sistema de dos surcos por encima de la copa de los árboles. Para el equipo semiestacionario, se tomó el sistema de dos medias caras de ida (surco del operario) y dos de regreso (surco contiguo).

Luego de retirar las tarjetas del cuerpo del operario, se colocaron en una bolsa plástica previamente marcada con el nombre del operario, equipo y parte del traje de protección. De este modo, fueron llevadas al laboratorio para su análisis.

Análisis de la información. Para el proceso de lectura, análisis y medición de las gotas marcadas en las tarjetas, se realizaron los desarrollos que se describen a continuación:

Digitalización de imágenes. Las tarjetas de Kromacote se digitalizaron en un escáner HP serie Scanjet 5590, a una resolución de 1.200 ppp (puntos por pulgada) con un tamaño de 2.560 x 2.560 píxeles (5,4 cm²). Una vez digitalizadas las tarjetas, se eliminaron los bordes que pudieran generar

lecturas erróneas, quedando con un tamaño final de 1.700 x 1.700 píxeles (3,6 cm²). Este procedimiento se realizó bajo una plataforma Linux Mint 13, mediante un script, invocando funciones de formateo de imágenes por lotes de la herramienta ImageMagic Versión 6.2.4.

Análisis de imagen. Para esta etapa, se desarrolló una aplicación bajo Linux con el programa Scilab 5.4.0, haciendo uso de librerías gráficas para procesamiento de imágenes. En este proceso, se hizo una conversión de la imagen de 16 millones de colores a ocho bits en escala de grises; posteriormente, se determinó un umbral para diferenciar las gotas del fondo y se realizó un conteo en toda la tarjeta de los píxeles que se consideraban gotas. Los píxeles que se encontraban unidos entre sí y que estaban dentro de la gama de grises que se consideraba gota, permitió determinar el área de cada gota y posteriormente el número de gotas presente en cada tarjeta. Finalmente, con la sumatoria del área de cada gota, se obtuvo el porcentaje de cubrimiento.

Variables de estudio. Como variable de respuesta se estableció el porcentaje de área cubierta por las gotas asperjadas en la tarjeta (cubrimiento), variable que representa la medición del riesgo de la aplicación sobre el operario y como variable complementaria, el número medio de gotas por tarjeta (densidad de gotas). Área efectiva de lectura, 3,6 cm².

Análisis estadístico. Por cada equipo y parte del cuerpo del operario, se estimó el promedio y variación para las dos variables de estudio. Posteriormente, para cada variable se realizó un análisis de varianza bajo el modelo para el diseño experimental bloques completos al azar al 5% y luego se aplicó la Prueba de Tukey al 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En cada equipo evaluado, según el análisis de varianza, los resultados mostraron que hubo efecto de los operarios; que fueron utilizados como factor de bloqueo para evaluar las diferencias entre los elementos de protección, en la variable de respuesta. La Tabla 2 muestra el cubrimiento y densidad de gotas en los diferentes EPP estudiados, para cada equipo de aspersión. El análisis de varianza mostró que, en todos los equipos evaluados, al menos uno de los EPP exhibió mayor exposición con el cubrimiento de las tarjetas, es decir, llegó más producto. Los guantes y la gorra fueron los elementos que, estadísticamente, tuvieron mayor cubrimiento durante la aspersión, en comparación con el resto de EPP (overol, monogafas y careta). Con relación a la variable densidad de gotas, esta solo muestra el número de impactos sobre la tarjeta; en el caso del cubrimiento, este depende no solo del número de impactos, sino que, en mayor o menor medida, del espectro del tamaño de las gotas que cada equipo produce. Por lo anterior, la variable cubrimiento puede dar una mayor idea de la real exposición del EPP a una aspersión.

La Tabla 3 muestra el efecto de cada equipo de aplicación sobre el grado de cubrimiento de los diferentes EPP estudiados. Elementos como la gorra, guantes, monogafas y overol (tronco – brazos) fueron los más contaminados por el equipo PPR+AV. A su vez, el overol parte inferior (piernas) tuvo la mayor exposición con el equipo PPR. Para las botas, los equipos PPR y palanca causaron el mayor cubrimiento de la nube asperjada sobre este EPP. Finalmente, los equipos PPR, palanca y motorizado de espalda exhibieron un mayor cubrimiento en la careta. En general, los EPP estuvieron más expuestos a la aspersión por los equipos que trabajaron con presiones de 40 psi que con 213 psi.

Tabla 2. Promedio por operario–tarjeta y error estándar (EE), para las variables cubrimiento y número de gotas, en cada equipo evaluado y por elemento de protección.

Equipo	Elemento de protección	Cubrimiento (%)		EE	Número gotas/tarjeta		EE
Presión hidráulica de espalda (palanca)	Guantes	15,9	AB	2,7	4.969,9	A	507,0
	Gorra	14,5	AB	1,8	6.001,0	A	468,3
	Botas	12,4	AB	3,8	3.702,3	B	447,5
	Overol (tronco-brazos)	8,5	BC	1,3	3.281,8	B	354,9
	Overol (piernas)	6,6	C	0,7	2.913,4	B	215,4
	Monogafas	5,0	C	0,7	2.595,1	BC	324,5
	Careta	4,2	C	1,1	1.800,0	C	443,3
Presión previa retenida (PPR)	Guantes	28,7	A	3,7	6.732,2	A	444,5
	Gorra	21,6	BC	3,5	7.454,1	A	671,5
	Botas	17,7	BC	5,0	4.332,6	B	504,7
	Overol (tronco-brazos)	13,8	CD	1,9	4.953,3	B	400,4
	Overol (piernas)	12,4	CDE	1,6	4.591,7	B	338,0
	Monogafas	7,3	DE	2,2	3.476,8	BC	543,7
	Careta	6,3	E	1,7	2.612,7	C	476,5
Presión previa retenida con aguilón vertical (PPR+AV)	Gorra	62,6	A	2,5	2.659,9	A	240,7
	Guantes	51,0	B	3,9	3.064,5	A	335,2
	Monogafas	20,7	C	4,0	2.680,9	A	447,8
	Overol (tronco-brazos)	19,1	C	2,6	2.284,8	A	223,0
	Overol (piernas)	6,8	D	0,7	2.609,6	A	263,4
	Botas	4,9	D	1,7	1.246,0	B	232,0
	Careta	2,3	D	0,5	741,7	B	110,2
Motorizado de espalda con bomba de presión	Guantes	6,6	A	1,2	3.820,5	AB	414,1
	Gorra	5,9	AB	1,0	3.391,6	AB	359,1
	Botas	3,9	BC	0,8	2.711,2	BC	410,1
	Overol (piernas)	3,4	C	0,3	2.733,6	BC	174,3
	Overol (tronco-brazos)	3,2	C	0,5	2.485,8	BC	313,5
	Monogafas	2,3	C	0,6	1.663,6	CD	293,5
	Careta	1,8	C	0,5	1.081,3	D	284,9
Semiestacionaria motorizada	Gorra	15,7	A	2,5	5.817,6	A	477,1
	Guantes	11,6	AB	1,8	5.665,9	A	646,5
	Overol (tronco-brazos)	9,3	BC	1,3	4.719,5	AB	420,1
	Overol (piernas)	8,2	BC	1,1	3.941,7	BCD	366,5
	Monogafas	6,4	BC	1,6	3.722,5	BCD	633,0
	Careta	4,3	C	1,3	2.435,6	D	578,1
	Botas	4,2	C	0,6	3.034,1	CD	317,2

Para cada elemento de protección, letras no comunes, implica diferencia entre promedios de los equipos evaluados, según prueba de Tukey al 5%.

Tabla 3. Promedio por operario–tarjeta para la variable cubrimiento (%), por elemento de protección en cada equipo evaluado.

Elemento de protección	Presión previa retenida con aguilón vertical (PPR+AV)				Presión hidrúlica de espalda (palanca)				Motorizado de espalda con bomba de presión	
	Presión previa retenida (PPR)	Presión previa retenida (PPR)	Semiestacionaria motorizada	Presión hidrúlica de espalda (palanca)	Motorizado de espalda con bomba de presión	Motorizado de espalda con bomba de presión	Motorizado de espalda con bomba de presión	Motorizado de espalda con bomba de presión	Motorizado de espalda con bomba de presión	
Gorra	62,6	A	21,6	B	15,7	BC	14,5	C	5,9	D
Guantes	51	A	28,7	B	11,6	CD	15,9	C	6,6	D
Monogafas	20,7	A	7,3	B	6,4	BC	5	B	2,3	B
Overol (tronco-brazos)	19,1	A	13,8	B	9,3	BC	8,5	C	3,2	D
Overol (piernas)	6,8	B	12,4	A	8,2	B	6,6	B	3,4	C
Botas	4,9	B	17,7	A	4,2	B	12,4	AB	3,9	B
Careta	2,3	B	6,3	A	4,3	AB	4,2	AB	1,8	B

Por elemento de protección, letras no comunes, implica diferencia entre promedios de los equipos evaluados, según prueba de Tukey al 5%.

En la Tabla 4 se observa que la contaminación de los EPP en conjunto, dependió del equipo utilizado. El equipo de PPR+AV fue el que produjo mayor contaminación, estadísticamente superior a los demás equipos. A su vez, el equipo motorizado de espalda fue el que menor cubrimiento generó. En cuanto a la densidad de gotas, el equipo estudiado también influyó, aunque en un orden diferente al observado con la variable cubrimiento. El mayor número de impactos sobre las tarjetas se registró con el PPR, seguido por el equipo semiestacionario. Los equipos PPR+AV y motorizado de espalda fueron los que menor número de gotas impactaron en las tarjetas. Este resultado difiere con lo hallado por Montoya & Villalba (2013), en una investigación realizada en Cenicafé, donde encontraron que los equipos de aspersión evaluados durante aplicaciones para el control de la broca, tuvieron diferencias

en la calidad física de las aplicaciones, siendo los equipos motorizados, tanto de espalda como semiestacionario, los que produjeron mayor número de gotas por centímetro cuadrado, que los equipos de palanca; sin embargo, debe recordarse que este estudio midió el cubrimiento en el cultivo, por lo que otro tipo de gotas pudieron llegar allí.

Los resultados obtenidos demuestran que la exposición a los plaguicidas durante la aspersión es en todo el cuerpo; sin embargo, en algunas partes hay mayor exposición que en otras (Bulacio et al., 2007; Gilbert & Bell, 1990; Medina-Escobar et al., 2014). En ese sentido, se confirma que la mano es una parte del cuerpo con mayor exposición durante la aplicación, por lo tanto, los guantes son los EPP que mayor efectividad ofrecen contra la contaminación por plaguicidas durante esta

Tabla 4. Promedio por operario–tarjeta para las variables cubrimiento y número de gotas por equipo, independiente del elemento de protección.

Equipo de aspersión	Cubrimiento (%)		Número de gotas			
	Promedio	EE	Promedio	EE		
Presión previa retenida con aguilón vertical (PPR+AV)	26,67	A	1,90	2.354,21	D	116,10
Presión previa retenida (PPR)	15,74	B	1,20	5.214,35	A	227,42
Semiestacionaria motorizada	9,65	C	0,70	4.519,88	B	207,03
Presión hidráulica de espalda (palanca)	9,56	C	0,70	3.741,84	C	187,38
Motorizado de espalda con bomba de presión	3,98	D	0,30	2.685,36	D	141,52

Letras no comunes, implica diferencia entre promedios de los equipos evaluados, según prueba de Tukey al 5%.

actividad (Baldi et al., 2006; Lander & Hinke, 1992; Medina-Escobar et al., 2014; Nigg et al., 1986; Stewart et al., 1999). Adicionalmente, se aporta nueva evidencia en cuanto a los EPP más expuestos a los insecticidas durante su aspersión; en este caso, se halló que la gorra (protector de la parte superior de la cabeza), es uno de los dos elementos más significativamente contaminados por los insecticidas asperjados durante el control de la broca. De otra parte, aunque Gilbert & Bell (1990) y Medina-Escobar et al. (2014) afirman que la cara es una de las partes del cuerpo con mayor exposición a las aspersiones, en este estudio no pudo comprobarse; el porcentaje de área cubierta por la aspersión tanto en las monogafas como en la careta, así lo muestran. Tampoco se encontró que las piernas fueran una de las partes del cuerpo más expuestas a las aplicaciones con equipos de espalda (Machado Neto, 1990; Matthews, 2002); sin embargo, se confirmó que las botas son un EPP con alta exposición a los insecticidas cuando se utilizan este tipo de equipos.

Este estudio corrobora que el tipo de equipo de aspersión determina en el cuerpo

de los operarios, el grado de exposición a los plaguicidas (Baharuddin et al., 2011; Baldi et al., 2006; Behmer et al., 1998). Así mismo, muestra que el uso de aguilones acoplados a equipos manuales pueden ser más contaminantes que otro tipo de equipos (Balloni et al., 2008). De otro lado, la mayor influencia sobre el cubrimiento en los EPP con los equipos de aspersión que trabajaron a presiones de 40 psi que con aquellos de 213 psi, difiere con lo hallado por Machera et al. (2003), quienes afirman que los equipos que trabajan a presiones altas son los producen mayor contaminación. En esta investigación no pudo corroborarse la influencia del tipo de boquillas mencionada por Yarpuz-Bozdogan & Bozdogan (2009), por cuanto fue con las boquillas de cono hueco (RC350B y TXVS3) que se presentó el mayor cubrimiento de los elementos de protección y no con las de abanico D-35 de los equipos motorizados, que en este caso fue con la que menor contaminación se obtuvo sobre los operarios.

Los equipos evaluados trabajaron con boquillas de abanico o cortina (D-35) o de cono hueco (TX3) y son boquillas hidráulicas,

las cuales producen tamaño de gotas entre 10 y 1.000 μm ; sin embargo, el tamaño promedio y el espectro del tamaño de las gotas, disminuye con el aumento de la presión, en especial a presiones de 217 psi (Matthews, 1987), cercano a las presiones de 213 psi evaluadas. Estudios anteriores han demostrado que al aumentar el tamaño de gota se observa un mayor número de éstas cerca a la fuente de origen de la aspersión; además, a bajas velocidades del viento (incluso a favor), el arrastre de las gotas también fue menor, con lo cual la distancia de transporte de las gotas disminuye para las más grandes; esta variación en el tamaño de gota puede ser dado por la reducción de presión del equipo (Matthews, 1987). Montoya y Villalba (2013) encontraron que los equipos PPR, PPR+AV y palanca produjeron gotas de mayor tamaño que los equipos motorizados, tanto de espalda como semiestacionario, observación confirmada por Prinzio et al. (2010), en un estudio sobre el efecto de la presión sobre la calidad de la aspersión en huertos, donde hallaron que con equipos a bajas presiones (72,5 psi) en comparación con altas presiones (261,0 psi), se obtuvo mayor cantidad de producto aplicado cerca de las hileras tratadas; además, con los equipos de alta presión hubo más deriva que los equipos trabajando a baja presión.

Aparte del papel fundamental que juega el equipo de aplicación, las condiciones meteorológicas durante la aspersión también ocupan un rol importante para la diseminación de las gotas y posterior contaminación de los EPP. Factores como humedad, temperatura o el viento, determinan la distancia a la que pueden ser arrastradas las gotas (Matthews, 1987). De este modo, es posible que dichos elementos climáticos influyeran para que una proporción de gotas no llegaran al blanco biológico, sino que quedaran junto al operario, permitiendo una contaminación considerable de los EPP en algunos casos. Si bien en este estudio no fueron registradas variables

climatológicas, Jaramillo (1982) indica que la velocidad del viento dentro de cafetales variedad Caturra, de 1,5 m de alto, es mucho menor que la registrada por las estaciones climatológicas cercanas al cultivo; además, presenta gráficas en donde muestra que las velocidades del viento durante las 24 horas del día, fueron inferiores a 3 km h^{-1} , velocidades que de acuerdo a Matthews (1987) pueden ser bajas y no permitirían un desplazamiento importante de las gotas, quedando muy cerca al equipo de aspersión.

Estos trabajos permitirían explicar el por qué, especialmente, con los equipos PPR+AV y PPR, más que con los equipos motorizados, se presenta una mayor probabilidad de exposición o contaminación de los EPP. Posiblemente, las gotas grandes o un volumen considerable de la mezcla asperjada, quedaron cerca al origen de la aspersión, es decir, con el operario, por lo tanto, las gotas fueron tomadas por los EPP".

Conviene indicar que una cosa es la contaminación del EPP y otra es la penetración del traje y posterior contacto con la piel del operario. En tal situación, como lo indican MacFarlane et al. (2013), no hay consenso en las investigaciones. Stewart et al. (1999) mencionan que se presenta una mayor penetración a través de la ropa con aplicaciones efectuadas por equipos que trabajan a bajas presiones (por ejemplo, equipos de palanca) que con equipos que operan a altas presiones; mientras que Machera et al. (2003) afirman lo opuesto. La protección de las diferentes partes del cuerpo debe garantizar la menor transferencia posible de insecticida a la piel del operario. En este sentido, se destaca que prendas normales como camisas, pantalones, zapatos y otras de trabajo, no deben considerarse como EPP cuando se aplican plaguicidas; los EPP deben confeccionarse con materiales resistentes,

sin orificios o desgarros, de tal forma que no permitan el contacto del plaguicida con el cuerpo humano (Fishel, 2018). La capacidad de las prendas de protección para proteger contra la exposición a plaguicidas está influenciada principalmente por el tipo de tejido, incluidos el grosor y el peso (Obendorf et al., 2003).

De acuerdo a las condiciones en las que se realizó la presente investigación, puede concluirse que todos los EPP son susceptibles de contaminación durante la actividad de la aspersión; sin embargo, cada EPP tiene un grado diferente de exposición.

Los resultados indican que, en las aspersiones para el control de la broca del café, la contaminación de los EPP está determinada en buena parte por su ubicación en el cuerpo del operario y por el tipo de equipo de aspersión.

Los equipos PPR+AV y PPR fueron los que ocasionaron la mayor contaminación sobre los trajes de los operarios.

En cuanto al grado de contaminación para cada EPP, independiente del equipo

de aspersión utilizado, los guantes y gorra sufrieron la mayor exposición al insecticida.

Este trabajo muestra la conveniencia del uso de EPP de buena calidad y en buen estado o la reevaluación del uso de algunos equipos de aspersión que producen alta contaminación en los trajes que protegen a los operarios. Sin embargo, no debe descuidarse la protección con equipos de menor impacto contaminante o EPP que tuvieron una reducida exposición como la careta y monografas.

El presente trabajo provee pautas para explorar nuevas tecnologías de aplicación de plaguicidas en el cultivo del café que reduzcan la contaminación en los operarios.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al personal de la Estación Experimental La Catalina; a los auxiliares de la disciplina de Entomología Juan Carlos Ortiz, Mauricio Jiménez y Diana Soraya Rodríguez. Esta investigación fue financiada por el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Crossref Funder ID 100019597), proyecto número ENT1607.

LITERATURA CITADA

- Airey, D. (1990). Protective clothing: A manufacturer's viewpoint. *Journal of Occupational Accidents*, 11(4), 269–275. [https://doi.org/10.1016/0376-6349\(90\)90045-W](https://doi.org/10.1016/0376-6349(90)90045-W)
- Baharuddin, M. R. B., Sahid, I. B., Noor, M. A. B. Mohd., Sulaiman, N., & Othman, F. (2011). Pesticide risk assessment: A study on inhalation and dermal exposure to 2,4-D and paraquat among Malaysian paddy farmers. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 46(7), 600–607. <https://doi.org/10.1080/03601234.2011.589309>
- Baldi, I., Lebailly, P., Jean, S., Rougetet, L., Dulaurent, S., & Marquet, P. (2006). Pesticide contamination of workers in vineyards in France. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 16(2), 115–124. <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500443>
- Balloni, S., Caruso, L., Cerruto, E., Emma, G., & Schillaci, G. (2008, september 15-17). *A Prototype of Self-Propelled Sprayer to Reduce Operator Exposure in Greenhouse Treatment* [International Conference]. Innovation Technology to Empower Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-food Systems, Ragusa, Italy. http://www.ragusashwa.it/CD_2008/lavori/TOPIC3/orale/BALLONI-CERRUTO-SCHILLACI-3.pdf
- Behmer, S. N., Di Prinzio, A. P., Magdalena, J. C., & Ayala, C. D. (1998). Exposición del operario durante

- la aplicación de productos fitosanitarios en fruticultura. En R. H. Balbuena, S. H. Benez, & D. Jorajuria (Eds.), *Ingeniería Rural y Mecanización Agraria en el Ámbito Latinoamericano* (pp. 208–213). Universidad Nacional de La Plata.
- Behmer, S. N., Di Prinzio, A. P., Magdalena, J. C., & Striebeck, G. L. (2001). Eficiencia de un equipo de protección personal para aplicaciones fitosanitarias en huertos frutales. *Agricultura Técnica*, 61(2), 221–228. <https://doi.org/10.4067/S0365-28072001000200012>
- Benavides Machado, P., Gil Palacio, Z. N., Góngora Botero, C., & Arcila Moreno, A. (2013). Manejo integrado de plagas. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Ed.), *Manual cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 2, pp. 179–214).
- Bulacio, L. G., Giuliani, S. L., Panelo, M. S., & Giolito, I. (2007). Seguridad en la aplicación de productos fitosanitarios en cultivos hortícolas y frutícolas. *Acta toxicológica argentina*, 15(1), 1–7. <http://www.scielo.org.ar/pdf/ata/v15n1/v15n1a01.pdf>
- Bustillo-Pardey, A. E. (2007). El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. *Boletín Técnico Cenicafe*, 24, 1–40. <http://hdl.handle.net/10778/579>
- Fishel, F. (2018). *PI243 Equipo de Protección Personal para la Manipulación de Pesticidas*. University of Florida. <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/PI243>
- Flórez, E., Bustillo-Pardey, A. E., & Montoya-Restrepo, E. C. (1997). Evaluación de equipos de aspersión para el control de *Hypothenemus hampei* con el hongo *Beauveria bassiana*. *Revista Cenicafe*, 48(2), 92–98.
- Gilbert, A. J., & Bell, G. J. (1990). Test methods and criteria for selection of types of coveralls suitable for certain operations involving handling or applying pesticides. *Journal of Occupational Accidents*, 11(4), 255–268. [https://doi.org/10.1016/0376-6349\(90\)90044-V](https://doi.org/10.1016/0376-6349(90)90044-V)
- Jaramillo, A. (1982). Microclima en cafetales a libre exposición solar y bajo sombrío. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *Taller sobre roya del café Hemileia vastatrix Berk y Br.* (pp. 1–20). Cenicafe. <http://hdl.handle.net/10778/741>
- Jaramillo, A., & Gómez-Gómez, L. (1989). Microclima en cafetales a libre exposición solar y bajo sombrío. *Revista Cenicafe*, 40(3), 65–79.
- Lander, F., & Hinke, K. (1992). Indoor application of anticholinesterase agents and the influence of personal protection on uptake. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 22(2), 163–166. <https://doi.org/10.1007/BF00213280>
- Leiva, P. D. (1997). *Productos fitosanitarios: Su correcto manejo*. INTA.
- MacFarlane, E., Carey, R., Keegel, T., El-Zaemay, S., & Fritschi, L. (2013). Dermal Exposure Associated with Occupational End Use of Pesticides and the Role of Protective Measures. *Safety and Health at Work*, 4(3), 136–141. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2013.07.004>
- Machado Neto, J. (1990). *Quantificação e controle da exposição dérmica de aplicadores de agrotóxicos na cultura estaqueada de tomate, na região de Cravinhos-SP*. [Tesis de Doctorado]. Universidade Estadual Paulista.
- Machera, K., Goumenou, M., Kapetanakis, E., Kalamarakis, A., & Glass, C. R. (2003). Determination of Potential Dermal and Inhalation Operator Exposure to Malathion in Greenhouses with the Whole Body Dosimetry Method. *The Annals of Occupational Hygiene*, 47(1), 61–70. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mef097>
- Matthews, G. (1987). *Métodos para la aplicación de pesticidas*. Compañía Editorial Continental.
- Matthews, G. (2002). Operator exposure to pesticides. *Pesticide Outlook*, 13(6), 233–237. <https://doi.org/10.1039/b211168n>
- Medina-Escobar, M. L., Rodríguez-Zamora, M. G., & Zamora-Rodríguez, P. (2014). Comparación de métodos de exposición dermal a plaguicidas en una muestra de floricultores y productores de palmito y chayote en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 27, 5–21. <https://doi.org/10.18845/tm.v0i0.1651>
- Montoya, D. F., & Villalba Gault, D. A. (2013). Evaluación física de las aplicaciones con diferentes equipos de aspersión para el manejo de la broca. *Revista Cenicafe*, 64(2), 48–58. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/530>
- Nigg, H. N., Stamper, J. H., & Queen, R. M. (1986). Dicofol exposure to Florida citrus applicators: Effects of protective clothing. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 15(1), 121–134. <https://doi.org/10.1007/BF01055257>
- Nurulain, M. U., Syed Ismail, S. N., Emilia, Z. A., & Vivien, H. (2017). Pesticide application, dermal exposure risk

- and factors influenced distribution on different body parts among agriculture workers. *Malaysian Journal of Public Health Medicine*, 1, 123–132.
- Obendorf, S. K., Csiszár, E., Maneefuangfoo, D., & Borsa, J. (2003). Kinetic Transport of Pesticide from Contaminated Fabric Through a Model Skin. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 45(2), 283–288. <https://doi.org/10.1007/s00244-003-0211-5>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2002). *Guías sobre buenas prácticas para la aplicación terrestre de plaguicidas*. FAO. <https://www.fao.org/3/Y2767S/Y2767S00.htm>
- Prinzio, A. di, Behmer, S., Magdalena, J., & Chersicla, G. (2010). Effect of pressure on the quality of pesticide application in orchards. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(4), 674–678. <https://www.chileanjar.cl/abstractms.php?cmd=ABSTRACT&lang=ENG&id=3607>
- Stewart, P. A., Fears, T., Kross, B., Ogilvie, L., & Blair, A. (1999). Exposure of farmers to phosmet, a swine insecticide. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 25(1), 33–38. <https://doi.org/10.5271/sjweh.380>
- Villalba-Gault, D. A. (2008). Tecnología de aplicación y equipos de aspersión de agroquímicos. En A. E. Bustillo (Ed.), *Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana* (pp. 201–225). Cenicafé.
- Yarpuz-Bozdogan, N., & Bozdogan, A. M. (2009). Assessment of dermal bystander exposure in pesticide applications using different types of nozzles. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 7(2), 678–682. <https://www.wfpublisher.com/Abstract/2316>