

RESPUESTA DEL CAFETO (*Coffea arabica*) ‘Catuaí’ A LOS HERBICIDAS GLIFOSATO, CLOMAZONE, LINURON, 2,4-D, METSULFURON-METIL, RIMSULFURON Y CLORIMURON-ETIL

Alvaro Anzalone¹, Miguel Arizaleta¹ y Jorge Vargas¹

RESUMEN

Los cafetales jóvenes son susceptibles a la interferencia de las malezas, sobre todo las que se ubican en el hilo de siembra, por lo tanto, en estas plantaciones el control se debe apuntar al mantenimiento de esa zona libre de malezas, lo cual puede ser logrado con la utilización de herbicidas. Con el objetivo de evaluar la respuesta del café a la aplicación de diferentes herbicidas, se realizaron dos ensayos. Las variables evaluadas fueron: número de hojas, nivel de daño, altura de planta y biomasa fresca la cual se evaluó a través de curvas dosis-respuesta. Para el ensayo A, se aplicaron las dosis de X, 0,5X, 0,25X y 0,125X, donde X representó la dosis comercial del herbicida en g·ha⁻¹ i.a., la cual es de 1920 para glifosato, 360 para clomazone, 1500 para linuron, 360 para 2,4 D amina, 12,5 para metsulfuron-metil, 30 para clorimuron-etil y 30 para rimsulfuron. Para el ensayo B, se utilizó: clorimuron-etil por ser el herbicida que demostró mayor selectividad al café en el ensayo A, aplicando las dosis de 1,25X; 1,5X; 1,75X y 2X. Los resultados del ensayo A, arrojaron que el clorimuron-etil tuvo el mejor comportamiento en cuanto a las variables evaluadas, seguido por el rimsulfuron. El glifosato causó un nivel de daño 20 según escala ALAM, hasta dosis de 960 g·ha⁻¹ i.a. El linuron y el 2,4-D amina causaron daños muy altos sobre las plantas. El clomazone y el metsulfuron-metil tuvieron un comportamiento intermedio en cuanto al daño a las plantas. El glifosato, linuron y 2,4-D amina fueron los herbicidas en los que fue posible encontrar un modelo log-logístico de dosis-respuesta significativo con los datos obtenidos. En el ensayo B, la dosis de clorimuron-etil equivalente a 37,5 g·ha⁻¹ i.a. sólo tuvo daño de 10 según el índice utilizado.

Palabras claves adicionales: Selectividad, dosis-respuesta, malezas

ABSTRACT

Coffee plant (*Coffea arabica* var. ‘Catuaí’ response to glyphosate, clomazone, linuron, 2,4-D, metsulfuron-methyl, rimsulfuron and chlorimuron-ethyl herbicides

Young coffee plants are susceptible to interference of weeds, especially those located in the seed yarn, therefore, in control plantations should target the seed yarn maintenance weed free and this can be achieved the use of herbicides. In order to evaluate the response of coffee to the application of different herbicides, two trials were conducted. The variables evaluated were number of leaves, level of damage, plant height and fresh biomass which is assessed using dose-response curves. For test A, doses applied were X, 0.5X, 0.25X, 0.125X, where X is the commercial dose of the herbicide in g·ha⁻¹ a.i. (1920 for glyphosate, 360 clomazone, 1500 for linuron, 360 for 2,4-D amine, 12.5 for metsulfuron-methyl, 30 for rimsulfuron, and 30 for chlorimuron-ethyl). For assay B, chlorimuron-ethyl was used as the herbicide showed higher coffee selectivity in Test A, in doses of 1.25X 1.5X 1.75X and 2X. Test results A, showed that the chlorimuron-ethyl had the best performance in terms of the variables evaluated, followed by rimsulfuron. Glyphosate caused a damage level 20 to level ALAM, up to doses of 960 g·ha⁻¹ a.i. The linuron and 2,4-D amine produced a very high damage on plants. The clomazone and metsulfuron-methyl had an intermediate behavior regarding damage to plants. Glyphosate, linuron and 2,4-D (amine) were herbicides that it was possible to find a log-logistic significant dose-response model. In test B, 37.5 g·ha⁻¹ a.i. of chlorimuron-ethyl was an index of 10 according the damage scale used.

Additional key words: Selectivity, dose-response, weeds

INTRODUCCIÓN

El café es un cultivo perenne que requiere de poco laboreo del suelo y en su estado inicial de desarrollo posee poco dosel, característica que

proporciona espacio y disponibilidad de luz solar al agroecosistema, creando una condición que es aprovechada por otras especies vegetales para su desarrollo y reproducción (García et al., 2000), estableciendo una competencia con el cultivo por

Recibido: Abril 22, 2013

Aceptado: Diciembre 2, 2013

¹ Dpto. de Fitotecnia, Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Apdo. 400. Barquisimeto, Venezuela. e-mail: miguelarizaleta@ucla.edu.ve; aanzalone@ucla.edu.ve

diversos factores, entre los que destacan los nutrimentos (Caro et al., 2001). Estas condiciones, sumadas a las condiciones ambientales comunes en el agroecosistema café en Venezuela, propician una relativamente alta diversidad de especies asociadas al cultivo y muchas de ellas se comportan como malezas. Las pérdidas causadas por éstas en los cafetales pueden ser muy elevadas, llegando a alcanzar hasta un 40 % de la producción (Nishimoto, 1996; FONDAS, 2008).

Los métodos de control de malezas más utilizados en cafetales en Venezuela son el manual y el químico. El químico presenta ciertas ventajas comparativas con el resto de los métodos comúnmente empleados, entre las que se pueden mencionar la facilidad y rapidez en la aplicación, menor costo de la labor, mayor eficiencia en el uso energético, entre otros (Abu-Qare y Duncan, 2002). Sin embargo, estos productos tienen el potencial de causar daño al cultivo cuando no son utilizados de forma correcta, más aún cuando la selectividad del herbicida sobre el cultivo no ha sido valorada apropiadamente.

Las plantas jóvenes de cafetos son muy susceptibles a la interferencia de las malezas, sobre todo las que se ubican en el hilo de siembra, efecto que puede comprometer tanto el crecimiento vegetativo como el reproductivo del café cuando el control de malezas no se efectúa adecuadamente. No obstante, controlar las malezas en el hilo de siembra es complicado, pues el control manual es muy costoso y muchas veces difícil de ejecutarlo, aunado a la insuficiencia de mano de obra y la excesiva humedad del suelo en zonas cafetaleras; por su parte, la carencia de herbicidas selectivos para el uso en esta fase del cultivo, como el déficit de tecnologías adecuadas para la aplicación de estos herbicidas no selectivos, limitan también el uso del control químico.

En plantaciones menores a tres años de edad el control de malezas se debe apuntar al mantenimiento del hilo de siembra libre de malezas, y eso puede ser logrado con la utilización de herbicidas selectivos en pre o post-emergencia de las malezas, o por medio de herbicidas no selectivos aplicados en el hilo de siembra del cultivo, pero por debajo de la copa del café y evitando la deriva (Ronchi y Silva, 2003).

El glifosato, metsulfuron-metil (Arizaleta et al., 2008), oxifluorfen, napropamida (Sánchez y Gamboa, 2004), 2,4-D amina y el imazetapir son

herbicidas utilizados en cafetales; sin embargo, todos ellos no son selectivos al café, por lo que el uso de estos productos de manera segura para el cultivo depende de su forma de aplicación, evitando que los herbicidas entren en contacto con el cultivo. Esta última condición es difícil de cumplir, ya que en plantaciones jóvenes es común que se impregne de herbicida en alguna medida al café, por lo que los daños son comunes, pero difíciles de cuantificar. Al respecto, algunos trabajos fueron realizados en la última década buscando seleccionar herbicidas para uso en plantaciones jóvenes de cafetos (Ronchi y Silva, 2003; 2004; Magalhães et al., 2012), pero hay mucho aún por investigar. Esta situación genera la necesidad de evaluar la susceptibilidad de cafetos jóvenes a diversos herbicidas con potencial uso en el cultivo, por lo que el objetivo de esta investigación fue obtener información confiable y precisa sobre los daños que estos productos causan sobre las plantas jóvenes, para sí manejarlos apropiadamente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluó la respuesta del café a la aplicación directa de herbicidas basada en la relación dosis-respuesta propuesta por Seefeldt et al., (1995); ésta consiste en un modelo log-logístico que permite comparar el nivel de susceptibilidad de una especie a una concentración del tóxico que produce el 50 % de la respuesta al ser comparada con un tratamiento control. El modelo se basa en la siguiente expresión:

$$y = f(x) = C + \frac{D - C}{1 + \exp[b(\log(x) - \log(I_{50}))]}$$

donde C = límite inferior de la respuesta; D = límite superior; b = pendiente e I_{50} = la dosis que produce un 50% de la respuesta. En este caso, la respuesta utilizada fue la biomasa fresca total (aérea y de raíces) de las plantas.

La investigación se desarrolló mediante la realización de dos ensayos:

Ensayo A: Se basó en la aplicación de diversas dosis de los herbicidas: glifosato, clomazone, linuron, 2,4-D (sal amina), metsulfuron-metil, rimsulfuron y clorimuron-etil, directamente sobre el follaje de las plantas jóvenes de café de la variedad Catuaí en fase de vivero (7 meses de edad), evaluando la respuesta de las plantas sobre

las variables: biomasa fresca acumulada, altura de planta, número de hojas y daño al cultivo. Se utilizó un gradiente de dosis: 0; 0,125X; 0,25X; 0,5X; y X; siendo “X” la dosis comercial recomendada del producto evaluado.

Ensayo B: Después de determinar el (los) herbicida(s) con mejor comportamiento (mayor selectividad al cultivo) con base a las variables evaluadas en el ensayo A, se procedió a la aplicación de dosis mayores a la comercial (1,25X; 1,5X; 1,75X y 2X) del (los) herbicida (s), con el fin de evaluar el comportamiento de las variables y estimar la selectividad de este producto bajo condiciones de uso en ‘sobredosis’ para corroborar la seguridad en el uso del producto en cuanto a la selectividad hacia el cultivo. Los tratamientos aplicados en ambos ensayos se presentan en el Cuadro 1.

Ambos ensayos se realizaron a nivel de vivero, con plantas en bolsas de polietileno negro, bajo un diseño completamente aleatorizado, utilizando cinco dosis para cada herbicida. Para la evaluación de cada herbicida se realizaron 25 repeticiones (plantas) por dosis aplicada, lo que supone un total de 125 plantas por herbicida y 875 plantas en todo el ensayo A y 125 en el ensayo B. Se tomó como unidad experimental a una planta. Las plantas que se utilizaron en ambos ensayos fueron producidas en la unidad de producción ‘Las Lomas’ perteneciente a PDVSA Agrícola en la población de Villanueva, Municipio Morán, estado Lara, la cual tiene una amplia trayectoria en la producción de plántulas de cafetos en fase de vivero. Se seleccionaron plantas con homogeneidad en altura, con buen vigor, sin deficiencias nutricionales visibles y de aspecto sano desde el punto de vista fitosanitario.

Los herbicidas fueron aplicados utilizando una asperjadora manual tipo mochila dotada de boquillas TeeJet 8002 y calibrada para una descarga de 600 L·ha⁻¹. Como fuente de los herbicidas se utilizaron los siguientes productos comerciales: Glifosan (glifosato 480 g·ha⁻¹ i.a.), Command 4 (clomazone 480 g·ha⁻¹ i.a.), Linurex 50 SC (linuron 500 g·ha⁻¹ i.a.), 2,4-D amina (4 Libras) (2,4-D sal amina 480 g·ha⁻¹ i.a.), Ally (metsulfuron-metil 600 g·ha⁻¹ i.a.), Titus (rimsulfuron 250 g·ha⁻¹ i.a.) y Classic (clorimuron-etil 250 g·ha⁻¹ i.a.). Las aplicaciones se realizaron directamente sobre el follaje de las

plantas de cafeto, que posteriormente fueron arregladas de forma completamente aleatorizada.

Cuadro 1. Tratamientos de herbicidas utilizados en ambos ensayos

Herbicida	Dosis comercial (g·ha ⁻¹ i.a.)	Tratamiento (g·ha ⁻¹ i.a.)	
Glifosato	1920	0	
		240	
		480	
		960	
		1920	
Clomazone	360	0	
		45	
		90	
		180	
		360	
Linuron	1500	0	
		187,5	
		375	
		750	
		1500	
2,4-D (amina)	360	0	
		45	
		90	
		180	
		360	
Metsulfuron-metil	12,5	0	
		1,57	
		3,13	
		6,25	
		12,5	
Rimsulfuron	9	0	
		1,13	
		2,25	
		4,50	
		9,00	
Clorimuron-etil**	30	0	0**
		3,75	37,50**
		7,50	45,00**
		15,00	52,50**
		30,00	60,00**

**Herbicida y dosis utilizadas en el ensayo B

A los 7, 22, 37 y 52 días después de la aplicación de los tratamientos (ddat) para el ensayo A, y a los 15, 30, 45, y 60 ddat para el ensayo B, se evaluaron las siguientes variables:

- Altura de la planta: se determinó desde el cuello de la planta hasta el último punto de crecimiento del tallo principal, con la ayuda de una regla graduada.

- Número de hojas: se determinó contando el número de hojas verdaderas presentes en toda la

planta, tanto en las ramas plagiotrópicas como ortotrópicas del cafeto.

- Nivel de daño: para lo cual se utilizó la escala

propuesta por la Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM, 1974), que se describe en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Escala para la evaluación del índice de daño al cultivo por efecto del herbicida

Índice	Denominación	Descripción del daño
0	Ningún daño	Ningún efecto, apariencia similar al testigo
10		Muy leve clorosis, ligero retardo en el crecimiento
20	Daño leve	Leve clorosis, retardo en el crecimiento
30		Clorosis más pronunciada, manchas necróticas, malformaciones
40		Clorosis intensa, necrosis y malformaciones pronunciadas, el cultivo se recupera
50		Los síntomas son más marcados; el cultivo se recupera, pero con dificultad
60	Daño moderado	La fitotoxicidad se manifiesta; el cultivo no desarrolla bien
70		Severo daño al cultivo, pérdida de plantas
80		Significativa muerte de las plantas, pocas logran sobrevivir
90	Daño severo	Muerte casi total de las plantas
100		Muerte total

Al final de cada ensayo (a los 52 y 60 ddat para los ensayos A y B respectivamente) se determinó la biomasa fresca total, tanto de la parte aérea como la parte radical, sin separar. Para ello se sacaron las plantas de la bolsa, se retiró el sustrato con abundante agua y con ayuda de una malla, para finalmente determinar su biomasa.

La biomasa fresca total y la altura, dado que son variables continuas, fueron evaluadas bajo un análisis paramétrico (análisis de varianza y prueba de medias de Tukey). En cuanto al número de hojas, por ser una variable no continua, se analizó a través de un análisis no paramétrico (prueba de Kruskal-Wallis). Antes de aplicar el análisis de varianza se procedió a comprobar los supuestos de normalidad, homogeneidad de la varianza e independencia de los errores. También fue aplicada una prueba de caja para descartar todos aquellos valores fuera de orden (valores atípicos extremos). Para estos análisis se utilizó el paquete estadístico Statistix 8.0.

Posteriormente se realizó el análisis de la curva dosis-respuesta utilizando el paquete "drc" (dose-response curve) del programa estadístico "R" versión 2.9.0. El análisis log-logístico antes descrito se realizó a través de un análisis de regresión no lineal, ajustando los datos al modelo para estimar los parámetros "C", "D", "b" e "I₅₀". El modelo que se escogió entre las opciones de este programa fue el modelo logístico con cálculo de tres (C=0) o cuatro parámetros. De los diferentes modelos generados como solución, se escogió aquel con significancia estadística, menor

suma de cuadrados del error y mayor ajuste.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayo A: Los resultados obtenidos al cabo de 52 ddat, para las variables número de hojas, altura de planta y biomasa fresca total, se presentan en el Cuadro 3. Por su parte, los resultados conseguidos para la variable daño al cultivo en todas las fechas evaluadas con cada uno de los herbicidas utilizados se presentan en el Cuadro 4.

Glifosato. A los 52 ddat se detectaron diferencias significativas entre las dosis para todas las variables bajo estudio, donde 1920 g·ha⁻¹ i.a. alcanzó el menor número de hojas y biomasa fresca con relación al resto de las dosis (Cuadro 3).

Al observar los niveles de daño (Cuadro 4) el tratamiento correspondiente a 1920 g·ha⁻¹ i.a. obtuvo un índice de 40 que se mantiene durante todo el ensayo, manifestándose como una clorosis intensa y estrechamiento en las hojas más jóvenes. A dosis menores a la comercial se evidenciaron daños, pero éstos fueron disminuyendo con el tiempo, lo que supone una recuperación del cultivo. Este efecto del glifosato fue observado por França et al. (2010), al detectar síntomas de intoxicación caracterizados por clorosis y estrechamiento de las hojas más nuevas de las plantas jóvenes de cafeto var. Catuaí, a partir de los 8 ddat, siendo mayor el daño en plantas que fueron tratadas con dosis superiores a 230,4 g·ha⁻¹ i.a. El amarillamiento observado en las hojas

puede ser debido a una menor síntesis de clorofila, ya que el glifosato es un herbicida que impide su formación de manera indirecta (Tan et al., 2006). De acuerdo a França et al. (2010), plantas jóvenes de cafeto sometidas a dosis mayores a 230,4 g·ha⁻¹ i.a. presentaron síntomas de toxicidad muy marcados.

Cuadro 3. Efecto de los herbicidas glifosato, clomazone, linuron, 2,4-D (amina), metsulfuron-metil, rimsulfuron y clorimuron-etil en diferentes dosis sobre el número de hojas, altura de planta y biomasa fresca total a los 52 ddat en plantas jóvenes de cafeto

Herbicida	Dosis (g·ha ⁻¹)	Variables		
		Hojas (N°)	Altura (cm)	Biomasa fresca (g)
glifosato	0	22,5 a	35,6 a	33,41 a
	240	23,5 a	33,3 ab	35,32 a
	480	19,3 a	28,8 bc	31,78 a
	960	22,2 a	30,1 bc	32,83 a
	1920	12,4 b	26,1 c	26,97 b
clomazone	0	22,5 a	35,6 a	33,41 a
	45	19,1 a	26,4 b	34,79 a
	90	19,8 a	24,6 bc	36,46 a
	180	21,5 a	26,2 b	35,50 a
	360	19,1 a	26,2 b	34,95 a
linuron	0	22,5 a	35,6 a	33,41 a
	187,5	15,8 a	26,0 b	29,97 ab
	375	12,8 a	24,3 b	26,58 b
	750	10,5 b	26,0 b	22,25 c
	1500	7,0 c	25,6 b	15,65 d
2,4-D (amina)	0	22,5 a	35,6 a	33,41 a
	45	14,3 a	27,1 b	31,44 ab
	90	10,8 a	25,0 b	30,99 ab
	180	11,9 b	26,6 b	28,19 b
	360	9,9 b	24,5 c	26,57 b
metsulfuron-metil	0	22,5 a	35,6 a	33,41 a
	1,56	16,0 a	27,6 b	29,56 ab
	3,13	13,5 b	25,3 bc	29,28 ab
	6,25	13,0 b	23,6 cd	29,10 ab
	12,5	11,5 b	21,3 d	27,37 b
rimsulfuron	0	22,5 a	35,6 a	33,41 a
	1,13	17,4 a	28,3 b	26,14 b
	2,25	16,9 a	28,3 b	25,60 b
	4,5	17,0 a	26,9 b	23,91 b
	9	16,5 a	28,5 b	24,96 b
clorimuron-etil	0	22,5 a	35,6 a	33,41 a
	3,75	19,6 a	28,6 b	31,78 a
	7,5	16,8 a	28,6 b	30,54 a
	15	19,6 a	29,4 b	31,50 a
	30	18,5 a	29,1 c	29,72 a

Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey HSD (P≤0,05)

Cuadro 4. Índice de daño al cultivo (promedio) producido por los herbicidas glifosato, clomazone, linuron, 2,4-D (amina), metsulfuron-metil, rimsulfuron y clorimuron-etil en diferentes dosis sobre plantas jóvenes de cafeto

Herbicida	Fecha de evaluación (ddat)	Índice de daño (ALAM)			
		X	0,5X	0,25X	0,125X
Glifosato (X=1920 g·ha ⁻¹ i.a.)	7	40	30	10	10
	22	40	30	10	0
	37	40	20	10	0
	52	40	20	10	0
Clomazone (X=360 g·ha ⁻¹ i.a.)	7	40	30	0	0
	22	40	40	10	10
	37	40	30	10	10
	52	40	20	10	0
Linuron (X=1500 g·ha ⁻¹ i.a.)	7	60	50	40	30
	22	80	70	40	30
	37	90	60	50	40
	52	90	60	50	40
2,4-D (amina) (X=360 g·ha ⁻¹ i.a.)	7	60	50	50	40
	22	60	50	50	40
	37	60	50	40	30
	52	60	50	40	30
Metsulfuron-metil (X=12,5 g·ha ⁻¹ i.a.)	7	30	20	20	10
	22	30	30	20	10
	37	40	30	20	10
	52	50	40	30	20
Rimsulfuron (X=9 g·ha ⁻¹ i.a.)	7	30	20	20	10
	22	10	0	0	0
	37	20	10	10	10
	52	10	10	0	0
Clorimuron-etil (X=30 g·ha ⁻¹ i.a.)	7	20	10	0	0
	22	10	10	0	0
	37	0	0	0	0
	52	0	0	0	0

X: dosis recomendada del producto evaluado (dosis comercial)

Para este herbicida fue posible construir un modelo de la relación dosis-respuesta. Estadísticamente este modelo (b=2,8; D=33,60; C=0; I₅₀=3172,29) resultó ser significativo (P=0,017), por lo que es posible verificar visualmente la tendencia sostenida del efecto de las dosis usadas en este ensayo sobre la biomasa fresca total promedio de las plantas jóvenes de cafeto (Figura 1). El modelo indica que es necesaria la aplicación de 1449,8 g·ha⁻¹ i.a. para la disminución del 10 % de la biomasa fresca total y 2345,5 g·ha⁻¹ i.a. para la disminución del 30 %,

siendo esta última superior a la dosis comercial. Esto coincide con la tendencia expresada por las pruebas de medias sobre las otras variables evaluadas, ya que sólo se presenta una diferencia entre grupos a $1920 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ i.a. y esta diferencia es equivalente al 17,84 % de la biomasa evaluada. Los resultados indican la inconveniencia del uso de glifosato a $1920 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ i.a. (dosis comercial) en aplicaciones directas sobre el café y que dosis menores ($0,125X$ ó $0,25X$), si bien no afectan de forma evidente el crecimiento de la planta, pudieran no garantizar un efectivo control de malezas.

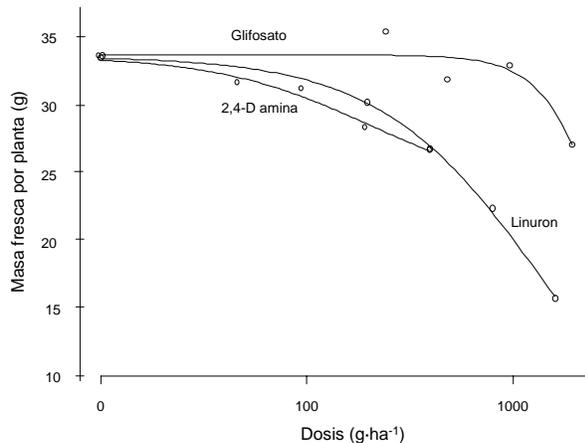


Figura 1. Modelo para la relación dosis de glifosato, linuron y 2,4-D (amina) vs. masa fresca promedio de plantas jóvenes de café

Clomazone. En el caso de este herbicida, para las variables número de hojas y biomasa fresca no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos aplicados. En cuanto a la altura de planta se puede observar el efecto del herbicida, pero con baja diferenciación entre dosis; se infiere que esta respuesta se debe a la disminución en la tasa fotosintética, producto del blanqueamiento que causa el clomazone sobre las hojas por el efecto de inhibición de la síntesis de carotenoides (Anzalone, 2008), en especial a dosis mayores de $90 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ i.a. (Cuadro 3).

En cuanto al nivel de daño se puede observar la tendencia de la dosis comercial de mantenerse en un nivel de daño con un índice de 40, manifestado en las plantas como una clorosis intensa en las hojas más jóvenes a los 7 ddat, que ya para los 22 ddat se presentó como un blanqueamiento que derivó en necrosis que empezó desde el ápice de la hoja, extendiéndose por toda la lámina foliar.

En cuanto a las dosis $45, 90$ y $180 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ i.a. resultó que el mayor nivel de daño se observó a los 22 ddat, para después tender a disminuir, recuperándose la planta. Si bien esta recuperación de las plantas fue evidente al no presentarse diferencias en la biomasa fresca al final del ensayo, el impacto visual del daño sobre las plantas y las diferencias en la altura que se registraron cuestionan mucho el uso de este herbicida en aplicaciones directas sobre plantas jóvenes de café, ya que podría suponerse una disminución en la competitividad y un retraso en el desarrollo y crecimiento de las mismas. Al no evidenciarse diferencias significativas en la biomasa fresca entre las dosis, no fue posible encontrar un modelo log-logístico de dosis-respuesta significativo.

Linuron: Se evidenciaron diferencias significativas en todas las variables evaluadas, con un marcado efecto de dosis. Todas las plantas tratadas con linuron en sus diferentes dosis presentan una disminución considerable en cuanto al número de hojas con respecto al testigo. Las observaciones realizadas evidenciaron un daño severo sobre las hojas producido por la aplicación del herbicida, causando rápidamente necrosis y caída de las mismas. Similar respuesta se observó en la altura de planta, siendo ésta una variable altamente susceptible a la acción del herbicida, que es incapaz de diferenciar las dosis aplicadas. En contraste con lo anterior, se puede observar que la biomasa fresca total muestra un diferenciado efecto de dosis, con clara tendencia a la disminución en la medida que aumentaba la dosis del herbicida (Cuadro 3).

El daño causado por linuron en todos los tratamientos fue significativamente alto, con una tendencia marcada a aumentar conforme el tiempo transcurría (Cuadro 4). Esto se evidenció en la primera semana con la aparición de clorosis intensa a nivel foliar para la dosis más baja ($187,5 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ i.a.) y para la dosis comercial ($1500 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ i.a.) a través de necrosis intervenales. Estos daños concuerdan con lo mencionado por Anzalone (2008), quien indica que las plantas con hojas anchas susceptibles a herbicidas inhibidores del fotosistema II, presentan una clorosis intervenal que evoluciona hasta necrosis por peroxidación de los lípidos de las membranas celulares, comenzando desde los bordes hacia el centro de la lámina foliar. Al finalizar el ensayo se observó

necrosis intensa con muerte casi total de las plantas.

El modelo dosis-respuesta obtenido ($b=1,09$; $D=33,38$, $C=0$ e $I_{50}=1357,88$) resultó ser significativo ($P=0,001$) e indica que una dosis de $182,44 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ i.a. (12,16% de la dosis comercial) generó una disminución del 10% de la biomasa fresca total y que $1357,88 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ i.a. (dosis cercana a la comercial) disminuye en 50% (I_{50}) esta biomasa (Figura 1). Estos resultados coinciden con los obtenidos para el nivel de daño e indican que el uso de linuron en aplicación directa sobre las plantas jóvenes de cafeto no es recomendable en ninguna de sus dosis.

2,4-D (amina). Todas las variables evaluadas presentaron diferencias significativas entre las dosis aplicadas (Cuadro 3). El efecto de este herbicida sobre las plantas fue notorio desde las dosis más bajas, con una tendencia a diferenciarse poco entre dosis. El número de hojas presentó una diferencia de aproximadamente 10 a 12 cm entre el testigo y las dosis del herbicida mayores de $90 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ i.a.. Se observaron enrollamientos en las hojas, que en muchos casos tardaron en necrosarse. En el mismo orden de ideas, la altura de la planta presentó una diferencia de 8,5 cm, en promedio, entre el testigo y la dosis menor del herbicida.

En cuanto a la variable biomasa fresca total se encontró que existieron diferencias estadísticas entre los tratamientos; las dosis de 45 y $90 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ i.a. se comportaron estadísticamente igual al testigo, fenómeno que puede deberse al mecanismo de acción del 2,4-D, que induce un descontrol hormonal, expresado por un enrollamiento de las hojas y crecimiento descontrolado, lo que produjo un engrosamiento anormal del tallo y con esto mayor acumulación de biomasa con respecto a las dosis mayores. Lo anteriormente descrito concuerda con lo expresado por Grossmann (2000), quien indica que el efecto producido por los herbicidas tipo auxina es similar al que causa el ácido indolacético (IAA), la hormona auxínica vegetal más abundante en las plantas superiores, y que este efecto se produce en dos vías: en bajas concentraciones estimula el crecimiento por división y elongación celular, mientras que en altas concentraciones produce una amplia variedad de anormalidades en el crecimiento.

En cuanto al nivel de daño, el efecto del

herbicida sobre las plantas fue visible mucho más rápido que en los demás tratamientos (Cuadro 4), ya que a los 4 ddat se podía observar el enrollamiento de las hojas más jóvenes, con un índice de daño de 30. El menor daño se ubicó en 40 entre todas las dosis, siendo el mayor de 60; esto afectó considerable a la planta, y debido a las características particulares del mecanismo de acción del herbicida, es notorio que el cafeto no soporta ninguna de las dosis utilizadas en este ensayo, y aunque las menores tuvieron una tendencia a la disminución del daño, éste siguió siendo alto. Entre otros daños que se pudieron observar estuvieron la epinastia, clorosis y manchas necróticas en hojas jóvenes en la mayor dosis, manteniéndose durante todo el ensayo.

El modelo de dosis-respuesta obtenido ($b=1,18$; $D=33,35$; $C=22,18$ e $I_{50}=194,13$) resultó significativo ($P=0,046$) (Figura 1). Se observa que el efecto del herbicida sobre la biomasa fresca total es menos drástico que en el caso de linuron, ya que las dosis más bajas resultaron similares al testigo para esta variable respuesta (Cuadro 3). El modelo permite estimar una disminución del 10% de la variable estudiada al aplicar una dosis de $30,31 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ i.a., y para que la disminución sea del 50% es necesario aplicar $194,14 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ i.a., dosis que representa el 54% de la dosis comercial. Estos resultados indican que el uso de 2,4-D en cafetales debe ser restringido, en especial en plantas jóvenes menores a tres años.

Metsulfuron-metil. Todas las variables evaluadas presentaron diferencias significativas entre tratamientos. En cuanto al número de hojas, la diferencia entre el testigo y la dosis comercial ($12,5 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ i.a.) fue de 11 hojas y sólo la dosis $1,5625 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ i.a. fue similar al testigo. Los resultados obtenidos para la variable altura indican que existió un efecto de dosis más marcado que en el caso del número de hojas con diferencias muy importantes en los valores de la variable entre el testigo y todas las dosis aplicadas, en especial la comercial ($12,5 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ i.a.). En cuanto a la biomasa fresca, no se observó una diferencia importante entre las dosis aplicadas, a excepción de la diferencia entre el testigo y la dosis comercial. En cuanto al nivel de daño (Cuadro 4), se puede evidenciar que en las dos primeras evaluaciones todos los tratamientos tuvieron la misma tendencia de mantenerse en el mismo daño a excepción de la dosis de $6,25 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ i.a. la

cual aumentó para los 22 ddat a un índice de 30. El mayor índice de daño se observó a los 52 ddat para todas las dosis, siendo superior en la dosis comercial ($12,5 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ i.a.) con un índice de daño de 50, presentando clorosis intensa y, en algunos casos, necrosis. Al igual que en el caso de clomazone, para metsulfuron-metil no fue posible encontrar un modelo log-logístico de dosis-respuesta significativo con los datos obtenidos en el ensayo.

Rimsulfuron. No se detectaron diferencias significativas en el número de hojas; sin embargo, la diferencia promedio entre el testigo y la dosis de $9 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ i.a. (dosis comercial) fue de 6 hojas, factor que pudo tener repercusión en el crecimiento y desarrollo de las plantas, que se expresó en las otras variables. En las variables altura de planta y biomasa fresca total se observaron diferencias entre el testigo y todas las dosis aplicadas, pero no entre las dosis, lo que indica una respuesta de la planta poco diferenciada por efecto de dosis. Los niveles de daño fueron disminuyendo en todas las dosis utilizadas hacia el final del ensayo, siendo altos y constantes para la dosis comercial. En general los daños se evidenciaron a través del retardo en el crecimiento, aunque no se observó clorosis foliar. Esto indica que la planta tiene la capacidad de recuperarse después de aplicaciones de las diferentes dosis utilizadas en este ensayo. Al igual que en el caso de clomazone y metsulfuron-metil, para rimsulfuron no fue posible encontrar un modelo log-logístico de dosis-respuesta significativo con los datos obtenidos en el ensayo.

Anzalone y Silva (2010) indican que el rimsulfuron no produce daños al café cuando es aplicado en plantas adultas, es decir, cuando se aplica sobre las malezas sin contacto directo sobre el follaje del cultivo; no obstante, los resultados obtenidos en este trabajo aunado al costo del herbicida, lo hacen poco recomendable y ratifican su limitado uso en cafetales, ya que la aplicación directa sobre las plantas jóvenes produce daño y retraso en el crecimiento.

Clorimuron-etil. Al igual que el rimsulfuron, el clorimuron-etil no presentó diferencias entre los tratamientos en el número de hojas. En cuanto a la altura de planta, si se detectaron diferencias entre las dosis aplicadas, encontrando que todos los tratamientos con el producto se comportaron estadísticamente menor al testigo, siendo el de

menor altura la dosis de $30 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ i.a. (dosis comercial); sin embargo, el análisis de la biomasa fresca total determinó que no existió diferencia entre los tratamientos.

Clorimuron-etil tuvo el mejor comportamiento entre todos los herbicidas en cuanto al nivel de daño se refiere (Cuadro 4), ya que al final del ensayo las plantas no presentaron ningún efecto visualmente detectable y su apariencia fue similar al testigo, lo que supone una selectividad del herbicida hacia el cultivo; también se puede observar que el nivel de daño tendió a disminuir conforme transcurrió el tiempo en todos los tratamientos, con excepción de la dosis de $3,75 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ i.a., en la cual las plantas no presentaron en ningún momento síntomas de daño. Para la segunda evaluación (22 ddat) la dosis de $7,5 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ i.a. tenía un comportamiento similar al testigo y las dosis de 15 y $30 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ i.a. presentaban sólo un índice de daño de 10. Al no observarse efecto de dosis sobre la biomasa fresca total, no fue posible la construcción de un modelo dosis-respuesta.

Entre las sulfonilureas utilizadas en esta investigación se evidenció que el clorimuron-etil tuvo el mejor comportamiento general en cuanto a todas las variables evaluadas en comparación con sus semejantes (rimsulfuron y metsulfuron-metil), lo que coincide con lo mencionado por Ronchi y Silva (2003) quienes reportaron que este herbicida tiene un alto potencial para el uso sobre plantas jóvenes de café. Estas consideraciones, sumadas a los resultados obtenidos en el ensayo A condujeron a la selección del herbicida clorimuron-etil para el ensayo B.

Ensayo B: Respecto a este ensayo, en el cual se analizó el efecto de diferentes dosis mayores a la comercial ('sobredosis') del herbicida con mayor selectividad al cultivo de los valorados en el ensayo A, que resultó ser el clorimuron-etil, no se detectaron diferencias entre tratamientos para el número de hojas (Cuadro 5); en el caso de la altura de la planta, si bien se evidencia un efecto de dosis poco claro, debido a que menores dosis producen efectos más severos que dosis mayores, la tendencia general es que esta variable se vio poco afectada por las dosis aplicadas.

Para la variable biomasa fresca se evidencia que la planta no se vio afectada hasta una dosis de $37,5 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ i.a., que corresponde a 1,25 veces la dosis comercial. Este rango de seguridad permitiría absorber un error de aplicación de hasta un 25 % por encima de la dosis comercial sin

afectar al cultivo. Por su parte, el nivel de daño fue proporcional al aumento de la dosis, siendo la tendencia a disminuir conforme transcurrió el tiempo (Cuadro 5), lo cual coincide con la tendencia observada en el ensayo A para este

mismo herbicida. El mayor índice de daño observado se presentó en la dosis correspondiente a 60 g·ha⁻¹ i.a. y se manifestó como una clorosis intensa en las hojas, pero que tendió a disminuir en el tiempo.

Cuadro 5. Efecto del clorimuron-etil en diferentes dosis sobre el número de hojas, altura de plantas, biomasa fresca total e índice de daño al cultivo a los 60 ddat en plantas jóvenes de cafeto

Dosis (g·ha ⁻¹ i.a.)	Variables de desarrollo			Índice de daño (ALAM)			
	Nº hojas	Altura (cm)	Biomasa fresca (g)	ddat			
				7	22	37	52
0	31,5 a	39,3 a	46,2 a	0	0	0	0
37,5	24,9 a	39,1 a	43,4 a	10	10	10	0
45,0	24,6 a	36,2 b	41,0 b	20	10	10	0
52,5	30,3 a	38,0 a	42,6 b	30	20	10	10
60,0	27,6 a	38,5 a	38,4 b	40	40	30	20

Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey HSD ($P \leq 0,05$)

CONCLUSIONES

Los herbicidas linuron y 2,4-D (amina) quedan descartados para su uso en aplicaciones post-emergentes sobre plantas jóvenes de cafeto, debido a que producen altos niveles de daño y reducción en el número de hojas, altura y biomasa del cultivo. Su uso en cafetales quedaría restringido a aplicaciones dirigidas a las malezas.

El herbicida clomazone tuvo mejor comportamiento de selectividad en todas las variables evaluadas en comparación con el linuron y el 2,4-D (amina); sin embargo, el blanqueamiento producido a dosis mayores de 90 g·ha⁻¹ i.a. hace que este producto no sea recomendable para su uso en aplicaciones directas sobre plantas jóvenes de cafeto por encima de esta dosis.

El glifosato y el metsulfuron-metil son herbicidas que pueden ser utilizados en aplicaciones postemergentes sobre plantas jóvenes de cafeto en dosis de 960 g·ha⁻¹ i.a. para glifosato y 3,125 g·ha⁻¹ i.a. para metsulfuron-metil.

Entre las sulfonilureas ensayadas se destacaron el rimsulfuron y el clorimuron-etil, obteniendo índices de daño al cultivo bajos; sin embargo, el rimsulfuron al igual que el metsulfuron-metil afectaron en mayor grado que el clorimuron-etil las variables número de hojas, altura y biomasa fresca total.

El herbicida que tuvo mejor comportamiento de selectividad al cultivo en cuanto a las variables

estudiadas fue el clorimuron-etil, presentando un comportamiento similar al testigo en todas las variables evaluadas, en dosis comercial y menor a ella. Su uso hasta una dosis de 37,5 g·ha⁻¹ i.a. es seguro para el cultivo.

LITERATURA CITADA

1. Abu-Qare, A. y J. Duncan. 2002. Herbicide safeners: uses, limitations, metabolism, and mechanisms of action. *Chemosphere* 48: 965-974.
2. ALAM. 1974. Métodos para la evaluación de ensayos en control de malezas en Latinoamérica, II Congreso de ALAM. Cali, Colombia. Revista de la Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM). pp. 6-12.
3. Anzalone, A. 2008. Herbicidas, Modos y Mecanismos de Acción en Plantas. 1ª ed. Fondo Editorial de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto. Venezuela. 140 p.
4. Anzalone, A. y A. Silva. 2010. Evaluación de herbicidas sulfonilureas para el control de malezas en cafetales. *Bioagro* 22(2): 95-104.
5. Arizaleta, M., A. Anzalone y A. Silva. 2008. Efecto del uso de metsulfuron-metil y glifosato sobre malezas asociadas a cafetales en Venezuela. *Bioagro* 20(2): 79-88.
6. Caro, P., M. Rodríguez y C. Morán. 2001. Extracción de nutrientes por las malezas en

- el cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.). *Café-Cacao* 2(1): 25-27.
7. FONDAS. 2008. Manual para el manejo agronómico del cultivo de café en el eje Lara-Portuguesa- Trujillo- Barinas- Yaracuy. M.C. Editora. Caracas. 36 p.
 8. França, A., R. Reis, M. Freitas, C. Fialho, L. Reis y A. Silva. 2010. Crescimento de cultivares de café arábica submetidas a doses do glyphosate. *Planta Daninha* 28(3): 599-607.
 9. García, M., A. Cañizales, F. Salcedo y L. Guillén. 2000. Un aporte a la determinación del período crítico de interferencia de malezas en cafetales del estado Monagas. *Bioagro* 12(3): 63-70.
 10. Grossmann, K. 2000. Mode of action of auxin herbicides: a new ending to a long, drawn out story. *Trends in Plant Science* 5: 506-508.
 11. Magalhães, C., C. Ronchi, R. Ruas, M. Silva, F. Araújo y W. Almeida. 2012. Seletividade e controle de plantas daninhas com oxyfluorfen e sulfentrazone na implantação de lavoura de café. *Planta daninha* 30(3): 607-616.
 12. Nishimoto, R. 1996. Manejo de malezas en las plantaciones de cafeto. *In*: R. Labrada, J. Caseley y C. Parker (eds.). *Manejo de Malezas en Países en Desarrollo. Producción y Protección Vegetal*. FAO Paper Nº 120. Roma. pp. 375-381.
 13. Ronchi, C. y A. Silva. 2003. Tolerância de mudas de café à herbicidas aplicados em pós-emergência. *Planta Daninha* 21(3): 421-423.
 14. Ronchi, C. y A. Silva. 2004. Controle de plantas daninhas em cafezais recém-implantados, com herbicidas aplicados em pós-emergência em área total. *Planta Daninha* 22(4): 604-615.
 15. Sánchez, L. y E. Gamboa. 2004. Control de malezas con herbicidas y métodos mecánicos en plantaciones jóvenes de café. *Bioagro* 16(2): 133-136.
 16. Seefeldt, S., J. Jensen y P. Fuerst. 1995. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationships. *Weed Technology* 9: 218-227.
 17. Tan, S., R. Evans y B. Singh. 2006. Herbicidal inhibitors of amino acid biosynthesis and herbicide-tolerant crops. *Amino Acids* 30(2): 195-204.