



Evaluación del nitrato de amonio y flameo para el manejo de arvenses en café*

Evaluation of ammonium nitrate and flaming for weed management in coffee

Mary Pamela Portuguese García¹, María Isabel González Lutz², Renán Agüero Alvarado¹, Adolfo Soto Aguilar³

* Recepción: 30 de octubre, 2024. Aceptación: 25 de febrero, 2025. Este trabajo formó parte de la tesis de maestría de la primera autora, titulada “Flameo y nitrato de amonio como nuevas opciones para el manejo de plantas arvenses en el cultivo de café en finca La Hilda, San Pedro de Poás, Alajuela”. Proyecto de acción social ED1816, “Capacitación, consultoría y diagnóstico con plantas arvenses”, Universidad de Costa Rica.

¹ Universidad de Costa Rica, Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno. La Garita, Alajuela, Costa Rica. mary.portuguez@ucr.ac.cr (autora para correspondencia, <https://orcid.org/0000-0002-3520-7699>); renan.aguero@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0001-9053-9998>).

² Universidad de Costa Rica, Escuela de Estadística. San Pedro, San José, Costa Rica. mariaisabel.gonzalezlutz@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0002-3073-7746>).

³ Profesor emérito de la Universidad de Costa Rica. San Pedro, San José, Costa Rica. adolfo6@live.com (<https://orcid.org/0009-0005-3078-7718>).

Resumen

Introducción. Las arvenses compiten con el café por recursos como el agua, la luz y el espacio, por lo que es necesario implementar prácticas de manejo sostenibles. **Objetivo.** Evaluar la eficacia del manejo de plantas arvenses con nitrato de amonio y flameo en un sistema de café. **Materiales y métodos.** El estudio se realizó del 26 de septiembre de 2022 al 10 de enero de 2023 en la finca cafetalera La Hilda, en San Pedro de Poás, Alajuela, Costa Rica. Se aplicaron de forma conjunta dos tratamientos alternativos de control de arvenses. El primero consistió en nitrato de amonio diluido en agua en tres dosis (0, 150 y 300 kg/ha), seguido, 15 días después, por la aplicación de flameo también en tres dosis (0, 60 y 120 kg/ha). Las aplicaciones se efectuaron sobre arvenses ubicadas en la entrecalle del café, utilizando un diseño de parcelas divididas; la parcela grande estuvo conformada por las dosis de nitrato de amonio, mientras que las parcelas pequeñas estuvieron conformadas por las dosis de flameo. Se incluyó un tratamiento testigo: control químico con glifosato, también acompañado de flameo. Cada tratamiento se asignó de manera aleatoria y se replicó seis veces. **Resultados.** Las hojas anchas resultaron moderadamente dañadas a los 25 días después de la aplicación del nitrato y 10 días después del flameo. Ambas dosis de nitrato de amonio sin flameo causaron daños leves en las especies de *Commelina diffusa*, y la dosis más alta de nitrato de amonio sin flameo provocó daños moderados en hojas anchas. El flameo sin nitrato de amonio ocasionó un daño moderado inicial en hojas angostas. **Conclusiones.** El efecto herbicida del nitrato de amonio dependió del flameo, pero solamente en hojas anchas. *C. diffusa* se controló de forma exitosa con glifosato y flameo.

Palabras clave: propano, fertilizante foliar, herbicidas, manejo de malezas, *Commelina diffusa*.

Abstract

Introduction. Weeds compete with coffee for water, light, and space; therefore, sustainable management practices must be implemented. **Objective.** To evaluate the effectiveness of weed management with ammonium nitrate and



© 2025 Agronomía Mesoamericana es desarrollada en la Universidad de Costa Rica bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para más información escriba a pccmca@ucr.ac.cr o pccmca@gmail.com

flaming in a coffee system. **Materials and methods.** This study was carried out from September 26, 2022, to January 10, 2023, at La Hilda coffee farm in San Pedro de Poás, Alajuela, Costa Rica. Two alternative weed control treatments were applied jointly: the first consisted of ammonium nitrate diluted in water at three doses (0, 150, and 300 kg/ha), followed 15 days later by flaming at three doses (0, 60, and 120 kg/ha). Applications targeted weeds present in the coffee rows, using a split-plot design where the main plot consisted of the ammonium nitrate doses and the small plots corresponded to flaming doses. A chemical control treatment with glyphosate, also combined with flaming, was included. Each treatment was randomly assigned and replicated six times. **Results.** Broad leaves were moderately damaged 25 days after nitrate application and 10 days after flaming. Both doses of ammonium nitrate without flaming caused slight damage to *Commelina diffusa*, and the highest ammonium nitrate dose without flaming produced moderate damage to broadleaf weeds; flaming without ammonium nitrate resulted in moderate initial damage to narrowleaf weeds. **Conclusions.** The herbicidal effect of ammonium nitrate was depended on flaming, but this effect was only observed in broadleaf weeds. *C. diffusa* was successfully controlled with glyphosate and flaming.

Keywords: propane, foliar fertilizer, herbicides, weed management, *Commelina diffusa*.

Introducción

Las arvenses que compiten con el cultivo de café en el trópico pueden reducir el rendimiento del cultivo hasta entre 20 y 60 % (Arcila et al., 2015). El control químico es una de las tácticas más utilizadas para intentar suprimir las poblaciones de arvenses (Arcila et al., 2015). Sin embargo, esta técnica implica un costo económico y la escasa cobertura vegetal resultante puede ocasionar erosión, pérdida del suelo y nutrientes, así como escurrimiento superficial del agua (Huerta-Olague et al., 2018).

En café, el nitrógeno se utiliza como fertilizante químico, tal es el caso del nitrato de amonio (Montero Blanco, 2017). El uso de fuentes nitrogenadas ha mostrado buenos resultados como potenciales herbicidas en varios sistemas de cultivos. La literatura registra el uso de nitrato de amonio (20 %) como herbicida en cultivos como cebolla y brasicáceas para el control de especies de arvenses como *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik. (Magnoliopsida: Brassicaceae) *Amaranthus retroflexus* L. (Magnoliopsida: Amaranthaceae) y *Gnaphalium uliginosum* L. (Magnoliopsida: Asteraceae). Los hallazgos indican que el tratamiento es más eficaz en especies que se encuentren en las primeras etapas de desarrollo, con cuatro hojas (Agamalian, 1988; Bitterlich et al., 1996).

El nitrato de amonio (NH_4NO_3) tiene un índice salino de 104, valor considerablemente alto en comparación con otras fuentes nitrogenadas como la urea (74,4) y el nitrato de calcio (65) (Mortvedt, 2001; Sierra, 1992). Una vez que las sales entran en contacto con el tejido vegetal pueden causar lesiones y daños severos (Mortvedt, 2001; Sierra, 1992). Existe un herbicida natural certificado por el OMRI (por sus siglas en inglés, Organic Materials Review Institute), cuyos ingredientes activos incluyen sales como las sales de potasio de ácidos grasos (40 %) y el nonanoato de amonio (40 %) (Roskopf, 2017).

Una limitante del nitrógeno es que se puede perder en el ambiente (González Torres et al., 2016) mediante procesos como lixiviación y volatilización (Montero Blanco, 2017), lo que limita su aprovechamiento total por parte de la planta de café. Sin embargo, el nitrato de amonio se podría emplear como fertilizante y herbicida de contacto (Agamalian, 1988; Bitterlich et al., 1996), también en mezcla con el flameo para potenciar el efecto herbicida en arvenses.

El flameo es una técnica que se utilizó para el control de arvenses en algodón, maíz, soya, frijol, alfalfa, papa, cebolla, arándano, fresa y uva en Estados Unidos entre 1940 y 1960. No obstante, en 1970 esta técnica fue reemplazada por el uso de herbicidas sintéticos, pero nuevamente ha recobrado interés por la producción

orgánica. El uso de esta táctica permitiría reducir o incluso prescindir del control químico en el tiempo, ya que las aplicaciones continuas de herbicidas han causado la selección de especies de arvenses resistentes a herbicidas. Además, el movimiento de los herbicidas hacia las aguas superficiales y subterráneas implica contaminación (Jhala et al., 2014).

El flameo es una alternativa en la cual se emplea gas licuado de petróleo, principalmente propano. El flameador genera hasta 1900 °C, lo que eleva la temperatura de los tejidos expuestos; un incremento superior a 50 °C dentro de las células de la planta puede generar la coagulación de las proteínas de la membrana y, con ello, la pérdida de su integridad. El flameo no altera la superficie del suelo, ya que su exposición es rápida y controlada, no produce una disminución total de la cobertura y reduce el riesgo de erosión sin afectar a los microorganismos del suelo (Ascard, 1995). El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficacia del manejo de plantas arvenses con nitrato de amonio y flameo en un sistema de café.

Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en la provincia de Alajuela, cantón Poás, distrito San Pedro, en el poblado La Hilda, bajo las coordenadas 10° 05.868 N y 084° 13.708 O (Figura 1). Se seleccionó un lote con café de la variedad Sarchimor T5296 de cuatro años en etapa de fructificación, sembrado en una disposición de 3,1 m entre calle por 0,7 m entre plantas de café, a pleno sol. El suelo de la finca correspondió al tipo Andisol (Centro de Investigaciones Agronómicas, 2021) y presentó una composición de 55 % de arena, 33 % de limo y 12 % de arcilla, lo cual lo cataloga como franco arenoso.

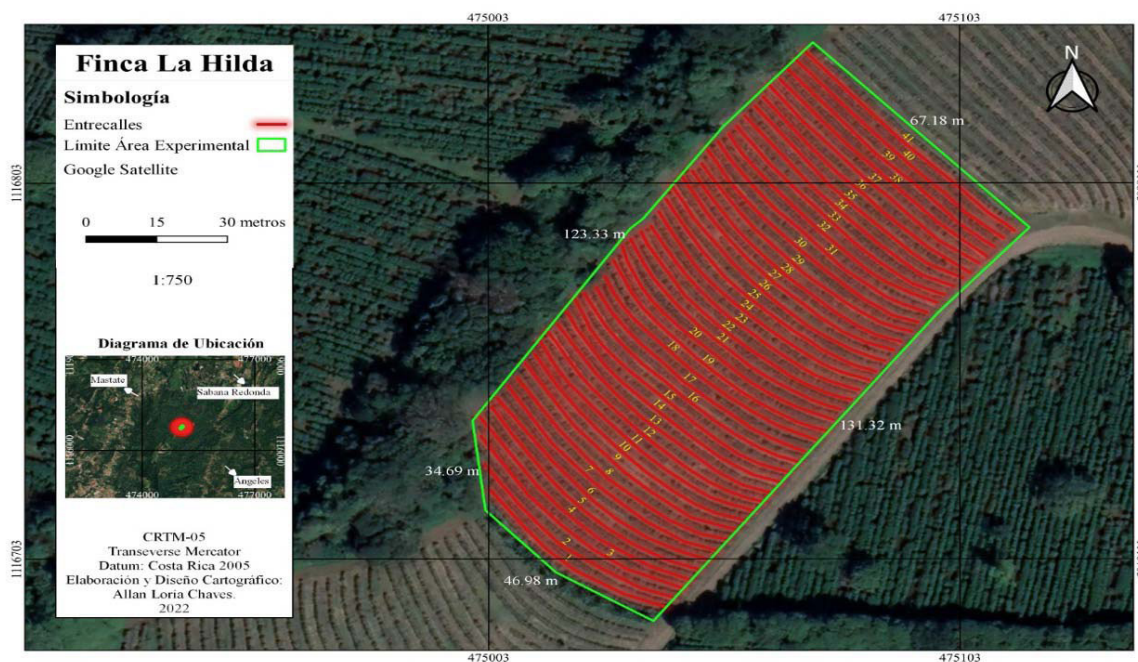


Figura 1. Área experimental, con entrecalles marcadas en rojo. Finca La Hilda, San Pedro de Poás, Alajuela. Septiembre, 2022.

Figure 1. Experimental area, space between the crop rows in red. La Hilda coffee farm, San Pedro de Poás, Alajuela. September 2022.

La fertilización base del área experimental se realizó en tres ocasiones al año a partir de una fórmula completa diseñada para la finca. La primera fertilización se efectuó con 16 (N)-0 (P)-12 (K)-5,3 (MgO)-5,4 (CaO)-9 (S); la segunda con 15,6 (N)-0 (P)-17 (K)-5,8 (MgO)-3,5 (CaO)-2,8 (S), y la tercera con 27 (N)-6 (CaO)-4 (MgO). La primera aplicación se llevó a cabo a los 30 días después de la floración, durante la segunda semana de mayo de 2022; la segunda a los 90 días, y la tercera a los 120 días. En las dos primeras fertilizaciones se aplicó una dosis de 900 kg/ha y en la tercera 350 kg/ha.

Se aplicaron primero los tratamientos fitotóxicos con nitrato de amonio y glifosato, y 15 días después se aplicaron los tratamientos con flameo en las entrecalles del café seleccionadas de forma aleatoria (Figura 1 y Figura 2). El experimento se realizó del 26 de septiembre de 2022 al 10 de enero de 2023. Durante ese periodo, las condiciones climatológicas promedio fueron las siguientes: precipitación de 6,1 mm, humedad relativa de 61,3 %, temperatura de 22,8 °C, la velocidad del viento de 1 m/s y la radiación solar de 22,8 W/m².

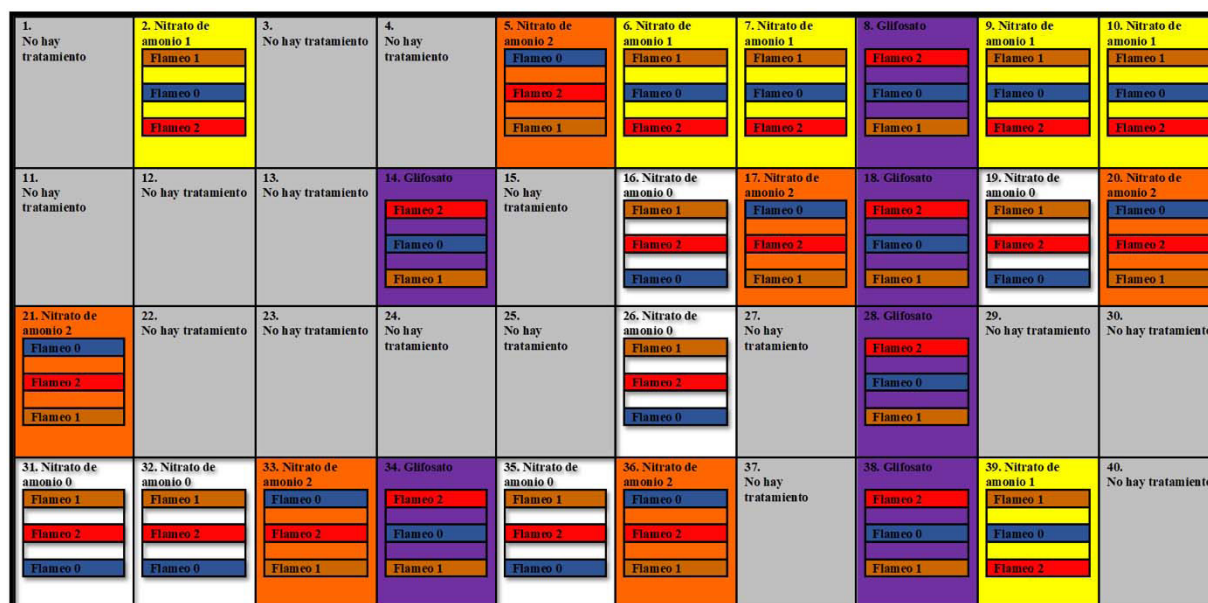


Figura 2. Esquema del diseño experimental de parcelas divididas utilizado para la aplicación conjunta de nitrato de amonio y flameo. Finca La Hilda, San Pedro de Poás, Alajuela. Septiembre, 2022-enero, 2023.

Nitrato de amonio 0: Nitrato amonio 0 kg/ha - color blanco. Nitrato de amonio 1: Nitrato de amonio 150 kg/ha - color amarillo. Nitrato de amonio 2: Nitrato de amonio 300 kg/ha - color anaranjado. Flameo 0: 0 kg/ha - color azul. Flameo 1: 60 kg/ha - color café. Flameo 2: 120 kg/ha - color rojo.

Figure 2. Scheme of the split-plot experimental design used for the joint application of ammonium nitrate and flaming. La Hilda coffee farm, San Pedro de Poás, Alajuela. September 2022-January 2023.

Ammonium nitrate 0: Ammonium nitrate 0 kg/ha - white color. Ammonium nitrate 1: Ammonium nitrate 150 kg/ha - yellow color. Ammonium nitrate 2: Ammonium nitrate 300 kg/ha - orange color. Flaming 0: 0 kg/ha - blue color. Flaming 1: 60 kg/ha - brown color. Flaming 2: 120 kg/ha - red color.

Aspersión de nitrato de amonio (NH_4NO_3) y glifosato

La aspersión del nitrato de amonio y glifosato se realizó sobre las arvenses presentes en la entrecalle de café (Figura 1), denominada “parcela grande”, con un área de 22 m² (1 m de ancho por 22 m de largo). Se dejó una distancia de 10 m desde la calle hasta la entrecalle (parcela grande) para evitar el efecto borde. La altura promedio de las arvenses asperjadas fue de 40 cm en poáceas, 10 cm en commelináceas y 10-25 cm en hojas anchas.

En cada una de las parcelas grandes se aplicaron los tratamientos con nitrato de amonio en tres dosis diluidas en agua: 0 kg/ha de NH_4NO_3 , 150 kg/ha de NH_4NO_3 y 300 kg/ha de NH_4NO_3 (0 kg/ha de nitrógeno, 50, 25 kg/ha de nitrógeno y 100, 5 kg/ha de nitrógeno). La aspersión se llevó a cabo mediante una bomba manual modelo CARPI 18LT con un tanque de capacidad de 18 L, acoplada a una barra de aspersión de 1 metro de cobertura y dos boquillas 8003. La calibración se ajustó a un volumen de 364,33 L/ha. A cada caldo de aplicación se le añadió un adherente a base de D-limoneno 15,00 %, a una dosis de 0,25 % v/v (Cuadro 1).

Cuadro 1. Dosis de las fuentes fitotóxicas aplicadas para el control de arvenses en la entrecalle del café. Finca La Hilda, San Pedro de Poás, Alajuela. Noviembre, 2022.

Table 1. Rates of phytotoxic sources applied for weed control between crop rows. La Hilda coffee farm, San Pedro de Poás, Alajuela. November 2022.

Tratamiento fitotóxico	Dosis (kg/ha i. a.)*
Glifosato	1,068
Nitrato amonio 0	0
Nitrato amonio 1	150
Nitrato amonio 2	300
Flameo 0	0
Flameo 1	60
Flameo 2	120

*kg/ha i.a.: Kilogramos de ingrediente activo por hectárea. / *kg/ha i.a.: Kilograms of active ingredient per hectare.

Además, en el testigo el pH de la mezcla fue de 5,84 y se aplicó glifosato en conjunto con flameo. La dosis fue 1,068 kg/ha de i. a. Se utilizó una bomba manual modelo CARPI 18LT con capacidad de 18 L/ha acoplada con una barra de aspersión de 1 m de cobertura y dos boquillas 8001. La calibración se ajustó a un volumen de 168,83 L/ha. A cada caldo de aplicación se le añadió un adherente a base de D-limoneno 15,00 %, a una dosis de 0,25 % v/v (Cuadro 1). Los tratamientos se aplicaron entre las 9:34 a. m. y la 1:11 p. m. Durante ese tiempo, las condiciones climáticas promedio fueron las siguientes: 0 mm de precipitación, 73,18 % de humedad relativa, 23,65 °C de temperatura, 0,98 m/s de velocidad de viento y 23,65 W/m² de radiación solar.

Aplicación de flameo

La aplicación de flameo se realizó 15 días después de la aspersión de nitrato de amonio y glifosato sobre las arvenses presentes en las parcelas pequeñas de 6 m² (1 m de ancho por 6 m de largo). Estas fueron aleatorizadas en cada una de las parcelas grandes en un metro de ancho en la entrecalle del café; entre cada parcela pequeña hubo una distancia de dos metros. El flameo se aplicó mediante un equipo especializado modelo VT2-23C (Deluxe Vapor Torch, por sus siglas en inglés), marca Weed Dragon®, con una presión de operación de 18 PSI y un consumo de 2,25 lb/h, y una capacidad de asperjar una flama con 1121,11 °C (Flame Engineering, Inc, 2025). Se emplearon tres dosis de flameo con propano: 0, 60 y 120 kg/ha (Cuadro 1).

La aplicación se llevó a cabo entre las horas de 8:38 a. m. y las 2:30 p. m. Durante ese lapso, las condiciones climatológicas promedio fueron las siguientes: 0,6 mm de precipitación –considerada insignificante, ya que no ocurrieron precipitaciones durante la aplicación, solo lluvias tenues al finalizar–, 74,72 % de humedad, 22,76 °C de temperatura, 0,77 m/s de velocidad de viento y 22,76 W/m² de radiación solar.

Variables evaluadas: porcentaje de cobertura de arvenses y su daño

El porcentaje de cobertura de arvenses se estimó de forma visual. Esta medición se efectuó en cada una de las parcelas pequeñas ubicadas en las entrecalles del café (Figura 1). El porcentaje de la cobertura de arvenses se clasificó en tres grupos: especies de Poaceae, especies de hojas anchas conformadas por varias familias dicotiledóneas y la única especie de la Commelinaceae, *Commelina diffusa* Burm.f. Las especies presentes en cada sitio de muestreo se identificaron mediante un levantamiento taxonómico.

El daño se evaluó de la siguiente manera: 1) ningún daño; 2) presencia de síntomas de clorosis y necrosis, sin muerte de plantas; 3) síntomas moderados, clorosis y necrosis con muerte de menos del 50 % del tejido; 4) síntomas severos, clorosis, necrosis, enanismo, muerte del 50 % del tejido, y 5) síntomas muy severos, muerte total (Villalobos & Herrera Murillo, 1999). Las evaluaciones de la cobertura se realizaron antes de la aplicación de nitrato de amonio (0 días después de la aplicación [dda] de nitrato de amonio) y antes de aplicar flameo (0 dda de flameo). El daño y la cobertura se evaluaron a los 15, 25, 40 y 60 dda de nitrato de amonio, que equivalieron a los 0, 10, 26 y 45 dda de flameo.

Análisis de propiedades físicas y químicas del suelo

Se realizó un muestreo de suelo un día antes de la aplicación de nitrato de amonio. Se recolectaron 20 submuestras de 200 g de los primeros 20 cm del suelo, tomadas de forma aleatoria con un palín en todo el lote. Luego, se obtuvo una muestra compuesta para todo el lote mediante la técnica del cuarteo (Henríquez & Cabalceta, 1999). Estas muestras fueron enviadas al Laboratorio de Suelos y Foliare y al Laboratorio de Recursos Naturales del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica, para someterlas a análisis químico y físico completo, respectivamente.

A los 60 dda de nitrato de amonio se recolectó suelo siguiendo el mismo procedimiento descrito anteriormente, pero en este caso el muestreo se efectuó por tratamiento. Se eligieron al azar tres de las seis repeticiones por tratamiento y, en la parcela correspondiente a cada tratamiento, se tomaron seis submuestras para conformar una muestra compuesta. Este procedimiento se repitió para cada una de las tres repeticiones por tratamiento, lo que dio un total de 12 muestras. El propósito fue evaluar la variación del contenido de nitrógeno y otros elementos según el tipo de tratamiento aplicado. Las muestras se enviaron al Laboratorio de Suelos y Foliare del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica para su análisis químico.

Diseño experimental

El diseño experimental fue de parcelas divididas, conformado por las parcelas grandes para cada dosis de nitrato de amonio (Nitrato 0: 0 kg NH₄NO₃/ha, Nitrato 1: 150 kg NH₄NO₃/ha, Nitrato 2: 300 kg NH₄NO₃/ha) y glifosato. Las parcelas pequeñas que se ubicaron dentro de las parcelas grandes fueron conformadas por cada dosis de flameo con propano (Flameo 0: 0 kg/ha, Flameo 1: 60 kg/ha, Flameo 2: 120 kg/ha). La unidad experimental de la parcela grande fue el área de 22 m² (1 m de ancho por 22 m de largo) de la entrecalle del café, mientras que la

unidad experimental de la parcela pequeña fue un área de 6 m² (1 m de ancho por 6 m de largo). Cada tratamiento se replicó seis veces (Figura 2).

Análisis de datos

El porcentaje de cobertura y el grado de daño se analizaron mediante un análisis de covarianza (ANCOVA) para parcelas divididas. Se utilizó como covariable la cobertura inicial y/o la cobertura registrada en la evaluación previa, según correspondiera. Cuando se detectó una interacción significativa, se aplicaron contrastes de hipótesis con la prueba Bonferroni para comparar el efecto de las dosis del flameo (0 vs. 120 kg/ha) en cada nivel de nitrato de amonio y/o glifosato. Además, cuando la interacción no fue significativa pero los efectos simples sí, se ejecutó una prueba Tukey al 5 %. Se utilizó el programa estadístico JMP versión Pro 17.

Resultados

Efecto en el porcentaje de cobertura por grupo de arvenses

En la cobertura de poáceas, el efecto del flameo varió según la dosis aplicada de nitrato de amonio. Esto se evidencia porque la única interacción significativa entre el nitrato de amonio y el flameo se observó en poáceas a los 60 dda. También se identificaron efectos significativos del flameo en poáceas a los 10 dda y del nitrato de amonio en *Commelina diffusa* Burm.f a los 40 dda y en hojas anchas a los 60 dda (Cuadro 2).

Cuadro 2. Probabilidades asociadas a la prueba de los efectos de las diferentes dosis de nitrato de amonio (NH₄NO₃) y/o glifosato y de flameo sobre el porcentaje de cobertura por grupo de arvenses de acuerdo con los días después de la aplicación. Finca La Hilda, San Pedro de Poás, Alajuela. Noviembre, 2022-enero, 2023.

Table 2. Probabilities associated with the test of effects of different rates of ammonium nitrate (NH₄NO₃) and/or glyphosate and flaming on the percentage of weed cover by group, based on days after treatment. La Hilda coffee farm, San Pedro de Poás, Alajuela. November 2022-January 2023.

Efectos (dosis)	Probabilidad											
	15 dda			25 y 10 dda ¹			40 y 26 dda ²			60 y 45 dda ³		
	C. d.	Ha	Poa	C.d.	Ha	Poa	C.d.	Ha	Poa	C.d.	Ha	Poa
NH ₄ NO ₃ /Gli	<0,0001*	<0,0001*	0,0791	0,5972	0,1658	0,0767	0,0154*	0,1875	0,8085	0,1380	0,0010*	0,0150*
Flameo	-	-	-	0,4807	0,2918	0,0446*	0,5140	0,6101	0,5959	0,0902	0,1595	0,8959
NH ₄ NO ₃ * flameo	-	-	-	0,1550	0,0923	0,9267	0,6652	0,6865	0,0864	0,2386	0,1610	0,0153*

¹ 25 días después de la aplicación (dda) de nitrato de amonio (NH₄NO₃) y/o glifosato, y 10 dda de flameo. / ¹ 25 days after treatment (dat) with ammonium nitrate (NH₄NO₃) and/or glyphosate, and 10 dat with flaming.

² 40 días después de la aplicación (dda) de nitrato de amonio (NH₄NO₃) y/o glifosato, y 26 dda de flameo. / ² 40 days after treatment (dat) with ammonium nitrate (NH₄NO₃) and/or glyphosate, and 26 dat with flaming.

³ 60 días después de la aplicación (dda) de nitrato de amonio (NH₄NO₃) y 45 dda de flameo. / ³ 60 days after treatment (dat) with ammonium nitrate (NH₄NO₃) and 45 dat with flaming.

C. d.: *Commelina diffusa*. Ha: Hoja ancha. Poa: Poaceae. Gli: Glifosato. / C. d.: *Commelina diffusa*. Ha: Broadleaf. Poa: Poaceae. Gli: Glyphosate.

* Significativo al 5 %. / * Significant at 5 %.

Efecto del flameo y el nitrato de amonio en la cobertura de Poaceae

Para simplificar el análisis, se compararon únicamente las dosis 0 y 120 de flameo en cada dosis de nitrato de amonio. El flameo resultó efectivo en poáceas solo cuando no se aplicó nitrato de amonio ni glifosato, al reducirse la cobertura de 54,6 % a 37,3 %. Esto evidenció que no hubo efecto sinérgico entre la aplicación de glifosato o nitrato de amonio con flameo en Poaceae (Cuadro 3).

Cuadro 3. Porcentaje de cobertura promedio de Poaceae en cada uno de los niveles de nitrato de amonio (NH_4NO_3) y glifosato evaluado a los 60 días después de la aplicación (dda), de acuerdo con las dosis de flameo medido a los 45 dda. Finca La Hilda, San Pedro de Poás, Alajuela. Enero, 2023.

Table 3. Average Poaceae cover percentage at each rate of ammonium nitrate (NH_4NO_3) and glyphosate evaluated at 60 days after treatment (dat), based on flaming rates evaluated at 45 dat. La Hilda coffee farm, San Pedro de Poás, Alajuela. January 2023.

Dosis de NH_4NO_3 (kg/ha i. a.)	Dosis de flameo con propano (kg/ha i. a.)	
	0	120
0	54,6 ^a	37,3 ^b
150	49,7 ^a	59,1 ^a
300	43,3 ^a	44 ^a
Glifosato	29,8 ^a	31,9 ^a

Promedios que no comparten la misma letra en cada una de las dosis de nitrato son significativamente diferentes al comparar las dosis de flameo 0 vs. 120. / Averages for each nitrate rate that do not share the same letter are significantly different when comparing flaming rates 0 vs. 120.

Efectos del nitrato de amonio en la cobertura de *Commelina diffusa* Burm.f

El efecto del nitrato de amonio fue independiente del uso del flameo en la cobertura de especies de Commelinaceae y de hojas anchas en todas las mediciones (Cuadro 2). *Commelina diffusa* Burm.f. fue la única especie de la familia Commelinaceae encontrada en este estudio a los 15 dda. Su cobertura fue menor cuando no se aplicó nitrato de amonio ni glifosato (Cuadro 4).

Cuadro 4. Porcentaje de cobertura promedio por grupo de arvenses, según el número de días después de la aplicación (dda) de nitrato de amonio (NH_4NO_3) y/o glifosato. Finca La Hilda, San Pedro de Poás, Alajuela. Noviembre, 2022-enero, 2023.

Table 4. Average cover percentage by weed group, according to days after treatment (dat) of ammonium nitrate (NH_4NO_3) and/or glyphosate. La Hilda coffee farm, San Pedro de Poás, Alajuela. November 2022-January 2023.

Dosis de NH_4NO_3 (kg/ha i.a)	15 dda		40 dda	60 dda
	<i>C. diffusa</i>	Hoja ancha	<i>C. diffusa</i>	Hoja ancha
0	7,7 ^c	88 ^a	8,8 ^{ab}	85,2 ^a
150	24 ^b	74 ^a	9,9 ^{ab}	59 ^b
300	21,5 ^b	84,7 ^a	4 ^b	79,3 ^a
Glifosato	64,6 ^a	47,1 ^b	17,4 ^a	45,6 ^c

Promedios que no comparten la misma letra en cada columna son significativamente diferentes al 5 %. / Averages that do not share the same letter in each column are significantly different at the 5 % probability.

Efectos del nitrato de amonio y del glifosato en la cobertura de hoja ancha

A los 15 dda, el glifosato produjo un menor promedio de la cobertura de arvenses de hoja ancha; este efecto fue consistente en la última evaluación a los 60 dda. En esta última medición, se observó una menor cobertura promedio con la aplicación de 150 kg/ha de nitrato de amonio, en comparación con el testigo sin aplicación (Cuadro 4) (Figura 3). Las principales arvenses presentes en la parcela conformada por el tratamiento de glifosato y nitrato de amonio fueron *Bidens pilosa* L. y *Galinsoga quadriradiata* Ruiz & Pav.



Figura 3. Efecto de los tratamientos fitotóxicos sobre la cobertura de arvenses en dos tiempos de evaluación. Cobertura a los 15 días después de la aplicación (dda) de nitrato de amonio: A) 0 kg/ha, B) 150 kg/ha, C) 300 kg/ha, D) glifosato. Cobertura a los 60 dda: E) 0 kg/ha, F) 150 kg/ha, G) 300 kg/ha, H) glifosato. Finca La Hilda, San Pedro de Poás, Alajuela. Noviembre, 2022-enero, 2023.

Figure 3. Effect of phytotoxic treatments on weed cover at two evaluation times. Weed cover at 15 days after treatment (dat) with ammonium nitrate: A) 0 kg/ha, B) 150 kg/ha, C) 300 kg/ha, D) glyphosate. Weed cover at 60 dat: E) 0 kg/ha, F) 150 kg/ha, G) 300 kg/ha, H) glyphosate. La Hilda coffee farm, San Pedro de Poás, Alajuela. November 2022-January 2023.

Efectos del flameo en la cobertura de Poaceae

El efecto del flameo fue independiente del nitrato de amonio a los 10 dda en la cobertura de las especies de Poaceae (Cuadro 2). Sin embargo, la prueba de Tukey no identificó el origen de las diferencias en el porcentaje de cobertura de esta familia al aplicar las tres dosis de flameo. No obstante, la menor cobertura se encontró al aplicar la dosis intermedia de flameo, con 39 % frente a 44 % en las otras dos dosis.

Efecto del nitrato de amonio y del flameo en el daño de la cobertura de arvenses

Se esperaba que el daño producido por el flameo variara según la dosis de nitrato. Esto ocurrió en la especie *C. diffusa* en las evaluaciones realizadas a los 10 y 26 dda de flameo, así como a los 25 y 40 dda de nitrato de amonio y/o glifosato. También se observó tal efecto en el daño de las hojas anchas a los 25 dda de nitrato de amonio y 10 dda de flameo (Cuadro 5).

Cuadro 5. Probabilidades asociadas a los efectos de la dosis de nitrato de amonio (NH_4NO_3) o flameo, sobre el grado de daño promedio por grupo de arvenses. Finca La Hilda, San Pedro de Poás, Alajuela. Noviembre, 2022-enero, 2023.

Table 5. Probabilities associated to the effects of different rates of ammonium nitrate (NH_4NO_3) or flaming on the average damage by weed groups. La Hilda coffee farm, San Pedro de Poás, Alajuela. November 2022-January 2023.

Efectos (dosis)	Probabilidad											
	15 dda			25 y 10 dda ¹			40 y 26 dda ²			60 y 45 dda ³		
	<i>C. d.</i>	Ha	Poa	<i>C. d.</i>	Ha	Poa	<i>C. d.</i>	Ha	Poa	<i>C. d.</i>	Ha	Poa
$\text{NH}_4\text{NO}_3/\text{Gli}$	<0,001*	<0,001*	<0,001*	<0,001*	0,0067*	<0,001*	<0,001*	<0,001*	<0,001*	-	<0,001*	<0,001*
Flameo	-	-	-	<0,001*	<0,001*	0,0280*	<0,001*	0,0789	0,2056	-	0,3769	0,8665
$\text{NH}_4\text{NO}_3/\text{Gli}$ * flameo	-	-	-	0,0255*	<0,001*	0,7239	<0,001*	0,6026	0,3785	-	0,4388	0,9991

¹ 25 días después de la aplicación de (dda) de nitrato de amonio (NH_4NO_3) y/o glifosato, y 10 dda de flameo. / ¹ 25 days after treatment (dat) with ammonium nitrate (NH_4NO_3) and/or glyphosate, and 10 dat with flaming.

² 40 días después de la aplicación de (dda) de nitrato de amonio (NH_4NO_3) y/o glifosato, y 26 dda de flameo. / ² 40 days after treatment (dat) with ammonium nitrate (NH_4NO_3) and/or glyphosate, and 26 dat with flaming.

³ 60 días después de la aplicación de (dda) de nitrato de amonio (NH_4NO_3) y 45 dda de flameo. / ³ 60 days after treatment (dat) with ammonium nitrate (NH_4NO_3) and 45 dat with flaming.

C. d. *Commelina diffusa*. Ha: hoja ancha. Poa: Poaceae. Gli: Glifosato. / *C. d.* *Commelina diffusa*. Ha: broadleaf. Poa: Poaceae. Gli; glyphosate.

* Significativo al 5 %. / * Significant at 5 %.

Efecto del nitrato de amonio y del flameo en el daño de la cobertura de *Commelina diffusa* Burm.f

En las evaluaciones efectuadas a los 25 dda de nitrato de amonio y 10 dda de flameo, así como a los 40 dda de nitrato de amonio y 26 dda de flameo, se evidenció que el efecto del glifosato se potenció al aplicar 120 kg propano/ha, ya que tal combinación produjo la mortalidad de las plantas de *C. diffusa*. También a los 25 dda de nitrato de amonio y 10 dda de flameo sobre tal arvense se observó un daño medio al aplicar la mayor dosis del tratamiento térmico en la parcela sin fertilizante (0 kg/ha de nitrato de amonio). Sin embargo, en las parcelas tratadas con las dosis de fertilizante no se encontró diferencia entre los promedios de grado de daño al no utilizar flameo (0 kg propano/ha) y usar la dosis más alta del tratamiento térmico. A los 40 dda de nitrato de amonio y 26 dda de flameo, debido a la recuperación de esta arvense, el daño en cada uno de los niveles del nitrato de amonio fue el mismo, independientemente del uso de flameo (Cuadro 6).

Efecto del nitrato de amonio y del flameo en el daño de la cobertura de hojas anchas

En las hojas anchas, el flameo incrementó el efecto del nitrato de amonio, pero no el del glifosato (Cuadro 6) (Figura 4). Las especies de hoja ancha predominantes fueron *Bidens pilosa* L. y *Galinsoga quadriradiata* Ruiz & Pav.

Cuadro 6. Grado de daño promedio por grupo de plantas arvenses en cada nivel de nitrato de amonio (NH_4NO_3) y glifosato evaluado a los 25 y 40 dda, según las dosis de flameo medido a los 10 y 26 dda. Finca La Hilda, San Pedro de Poás, Alajuela. Diciembre, 2022-enero, 2023.

Table 6. Average damage by weed group at each rate of ammonium nitrate (NH_4NO_3) and glyphosate, evaluated at 25 and 40 dat, based on flaming rates evaluated at 10 and 26 dat. La Hilda coffee farm, San Pedro de Poás, Alajuela. December 2022-January 2023.

Dosis de NH_4NO_3 (kg/ha i. a.)	25 dda del NH_4NO_3 y 10 dda del flameo				40 dda del NH_4NO_3 y 26 dda del flameo	
	<i>C. diffusa</i>		Hoja ancha		<i>C. diffusa</i>	
	Dosis de flameo (kg/ha i. a.)		Dosis de flameo (kg/ha i. a.)		Dosis de flameo (kg/ha i. a.)	
	0	120	0	120	0	120
0	0,3 ^a	1,5 ^b	1 ^a	3 ^b	0 ^a	0,2 ^a
150	1,2 ^a	2 ^a	1 ^a	3 ^b	1 ^a	0,7 ^a
300	1 ^a	1,3 ^a	1,8 ^a	3 ^b	0,7 ^a	0,3 ^a
Glifosato	3 ^a	5 ^b	3,8 ^a	4,2 ^a	3 ^a	5 ^b

¹ 25 días después de la aplicación (dda) de nitrato de amonio (NH_4NO_3) y/o glifosato, y 10 dda de flameo. / ¹ 25 days after treatment (dat) with ammonium nitrate (NH_4NO_3) and/or glyphosate, and 10 dat with flaming.

² 40 días después de la aplicación (dda) de nitrato de amonio (NH_4NO_3) y/o glifosato, y 26 dda de flameo. / ² 40 days after treatment (dat) with ammonium nitrate (NH_4NO_3) and/or glyphosate, and 26 dat with flaming.

Promedios que no comparten la misma letra son significativamente diferentes al comparar las dosis de flameo 0 vs. 120 para cada parcela grande. / Averages with different letters are significantly different when comparing flaming rates of 0 vs. 120 kg of propane for each large plot.

1 = Ningún daño, 2 = Presencia de síntomas de clorosis y necrosis, sin muerte de plantas, 3 = Síntomas moderados, clorosis y necrosis con muerte de menos del 50 % del tejido, 4 = Síntomas severos, clorosis, necrosis, enanismo, muerte del 50 % del tejido, 5 = Síntomas muy severos, muerte total. / 1 = No damage, 2 = Chlorosis and slight necrosis, no plant death, 3 = Moderate symptoms, chlorosis and necrosis with less than 50 % dead foliar tissue, 4 = Severe symptoms, chlorosis, necrosis, dwarfism, 50 % dead foliar tissue, 5 = Very severe symptoms, total plant death.



Figura 4. Daño observado a los 25 días después de la aplicación (dda) de nitrato de amonio (NH_4NO_3) y/o glifosato, y a los 10 dda de flameo con 120 kg/ha de propano sobre hojas anchas y *Commelina diffusa*. A) Efecto conjunto del glifosato con el flameo. B) Efecto con 0 kg/ha de NH_4NO_3 y flameo. C) Efecto con 300 kg/ha de NH_4NO_3 y flameo. Finca La Hilda, San Pedro de Poás, Alajuela. Diciembre, 2023.

Figure 4. Observed damage at 25 days after treatment (dat) with ammonium nitrate (NH_4NO_3) and/or glyphosate, and at 10 dat of flaming with 120 kg /ha of propane over broadleaf weeds and *Commelina diffusa*. A) Joint effect of glyphosate and flaming. B) Effect with 0 kg/ha of NH_4NO_3 and flaming. C) Effect with 300 kg/ha of NH_4NO_3 and flaming. La Hilda coffee farm, San Pedro de Poás, Alajuela. December 2023.

Efectos del nitrato de amonio y glifosato en el daño de la cobertura de Poaceae

A los 15 dda, el nitrato de amonio y el glifosato produjeron daños en los tres tipos de cobertura (Cuadro 5), ya que a la fecha de evaluación las parcelas aún no habían recibido el tratamiento con flameo. Las poáceas fueron afectadas por el glifosato y el daño fue consistente durante todas las evaluaciones. No se observó daño en Poaceae con ninguna de las dosis de nitrato de amonio (Cuadro 7).

Cuadro 7. Grado de daño promedio por grupo de plantas arvenses según el número de días después de la aplicación (dda) de nitrato de amonio (NH_4NO_3). Finca La Hilda, San Pedro de Poás, Alajuela. Noviembre, 2022-enero, 2023.

Table 7. Average damage by weed group according to the number of days after ammonium nitrate (NH_4NO_3) treatment. La Hilda coffee farm, San Pedro de Poás, Alajuela. November 2022-January 2023.

Dosis de NH ₄ NO ₃ (kg/ha i. a.)	15 dda		25 dda		40 dda		60 dda	
	C. d.	Ha	Poa	Poa	Ha	Poa	Ha	Poa
0	0,72 c	1,00 d	1,00 b	1,20 b	1,10 b	0,90 b	1,00 b	0,90 b
150	2,00 b	2,00 c	1,00 b	1,60 b	0,90 b	1,10 b	0,90 b	1,00 b
300	2,00 b	2,90 b	1,90 b	1,90 b	1,20 b	1,20 b	1,00 b	0,90 b
Glifosato	3,00 a	5,00 a	3,20 a	3,90 a	4,20 a	4,10 a	4,20 a	4,20 a

Promedios que no comparten la misma letra en cada columna son significativamente diferentes al 5 %. / Averages that do not share the same letter in each column are significantly different at the 5 % probability.

C. d.: *Commelina diffusa*. Ha: hoja ancha. Poa: Poaceae. / C. d.: *Commelina diffusa*. Ha: broadleaf. Poa: Poaceae.

1 = Ningún daño, 2 = Presencia de síntomas de clorosis y necrosis, sin muerte de plantas, 3 = Síntomas moderados, clorosis y necrosis con muerte de menos del 50 % del tejido, 4 = Síntomas severos, clorosis, necrosis, enanismo, muerte del 50 % del tejido, 5 = Síntomas muy severos, muerte total. / 1 = No damage, 2 = Chlorosis and slight necrosis, no plant death, 3 = Moderate symptoms, chlorosis and necrosis with less than 50 % dead foliar tissue, 4 = Severe symptoms, chlorosis, necrosis, dwarfism, 50 % dead foliar tissue, 5 = Very severe symptoms, total plant death.

Efectos del nitrato de amonio y glifosato en el daño de la cobertura de hoja ancha

A los 15 dda de nitrato y glifosato, el glifosato propició daños severos en las hojas anchas. Aunque a los 40 dda se observó cierta recuperación, el daño se mantuvo severo. En cambio, la dosis más alta de nitrato de amonio provocó un daño inicial moderado. No obstante, la actividad herbicida de esta sustancia no fue consistente en el tiempo, pues el efecto desapareció a los 40 y 60 dda. Esto indica que el efecto de nitrato de amonio en hoja ancha solo es inicial, lo cual podría retrasar el crecimiento de las arvenses y evitar su competencia inicial con el cultivo (Figura 5) (Cuadro 7).

Efectos del nitrato de amonio y glifosato en el daño de la cobertura de *Commelina diffusa* Burm.f

A los 15 dda de nitrato de amonio, a pesar de que ambas dosis de este tratamiento causaron un daño significativamente diferente al testigo, el nitrato apenas produjo leves marcas cloróticas sobre las hojas de *C. diffusa*. Por su parte, el glifosato dañó de forma moderada el tejido de esta especie. No se encontraron diferencias significativas en el tratamiento con nitrato de amonio o glifosato en las posteriores evaluaciones (Cuadro 7).



Figura 5. Efecto del nitrato de amonio a una dosis de 300 kg/ha sobre hoja ancha, evaluado en diferentes momentos. A) Efecto inicial a los 5 días después de la aplicación (dda). B) Efecto general a los 15 dda. C) Daño en *Bidens pilosa*, una de las principales especies que conformaron el grupo de hojas anchas en las parcelas evaluadas. D) Efecto general a los 60 dda. Finca La Hilda, San Pedro de Poás, Alajuela. Noviembre, 2022-enero, 2023.

Figure 5. Effect of ammonium nitrate at 300 kg/ha on broadleaf weeds, evaluated at different times. A) Initial effect at 5 days after treatment (dat). B) General effect at 15 dat. C) Damage on *Bidens pilosa*, one of the main broadleaf species in the evaluated plots. D) General effect at 60 dat. La Hilda coffee farm, San Pedro de Poás, Alajuela. November 2022-January 2023.

Efectos del flameo en el daño de la cobertura de Poaceae

A los 10 dda, el efecto de las dosis de flameo fue independiente de las dosis de nitrato y la aplicación de glifosato. Solamente se observó un incremento al pasar de la dosis 0 (1,7 grado de daño) de flameo a la dosis 60 kg/ha (2,5 grado de daño) (Figura 6). Las especies más abundantes en la parcela pequeña de flameo 1 y 2 fueron *Urochloa eminii* (Mez) Davidse, *Cynodon nlemfuensis* Vandyke y *Paspalum paniculatum* L.



Figura 6. Cobertura de Poaceae dañada a los 10 días después de la aplicación (dda) del flameo. A) Dosis de 60 kg/ha de propano. B) Dosis de 120 kg/ha de propano. Finca La Hilda, San Pedro de Poás, Alajuela. Diciembre, 2022.

Figure 6. Damaged Poaceae cover at 10 days after treatment (dat) with flaming. A) 60 kg/ha of propane. B) 120 kg/ha of propane. La Hilda coffee farm, San Pedro de Poás, Alajuela. December, 2022.

Efecto del nitrato de amonio en las propiedades químicas del suelo

No fue posible recolectar suficiente agua para determinar los contenidos de nitratos y amonios en el suelo, probablemente debido a la escasa precipitación registrada durante el periodo de evaluación del experimento. Sin embargo, a los 60 dda de nitrato de amonio no se identificaron desbalances nutricionales ni alteraciones negativas en los valores de pH y acidez a causa de la aplicación de este fertilizante. Por lo tanto, no se evidenciaron alteraciones en los parámetros del suelo medidos tras aplicar nitrato de amonio en las dosis estudiadas (Cuadro 8).

Cuadro 8. Valores nutricionales y de acidez promedio en el suelo según el tratamiento fitotóxico con nitrato de amonio (NH_4NO_3) a los 60 días después de la aplicación (dda). Finca La Hilda, San Pedro de Poás, Alajuela. Enero, 2023.

Table 8. Nutrient values and average soil acidity according to treatment with ammonium nitrate (NH_4NO_3) at 60 days after treatment (dat). La Hilda coffee farm, San Pedro de Poás, Alajuela. January 2023.

Característica	Unidad	Nivel crítico	Nivel inicial*	Mediciones en las parcelas grandes*			
				0 kg/ha i. a.	150 kg/ha i. a.	300 kg/ha i. a.	Glifosato
pH del agua	-	5,50	5,7	5,90	5,80	5,83	5,57
Acidez	cmol (+) /L	0,50	0,22	0,20	0,22	0,21	0,20
Calcio	cmol (+) /L	4,00	5,5	5,98	6,09	5,65	6,19
Magnesio	cmol (+) /L	1,00	1,52	1,69	1,66	1,74	1,77
Potasio	cmol (+) /L	0,2	0,36	0,73	0,54	0,56	0,53
CICE ¹	cmol (+) /L	5,00	7,6	8,60	8,52	8,16	8,69
Saturación de acidez ²	%	-	2,9	2,43	2,63	2,60	2,40
Fósforo	mg/L	10,00	4	4,67	5,33	4,33	5,00
Zinc	mg/L	3,00	3,2	5,93	6,83	5,97	5,77
Cobre	mg/L	1,00	5	7,00	6,00	6,00	6,33
Hierro	mg/L	10,00	70	78,00	90,33	79,67	79,33
Manganeso	mg/L	5,00	7	6,67	6,00	7,33	7,00
Conductividad eléctrica	mS/cm	1,5	0,20	0,17	0,17	0,20	0,37
Carbono	%	-	9,05	10,20	10,20	10,24	10,62
Nitrógeno	%	-	0,84	0,94	0,94	0,94	1,00
Carbono/nitrógeno	Relación	-	10,8	10,83	10,83	10,83	10,60
Materia orgánica ³	%	-	12,9	14,58	14,58	14,64	15,18

* Para extraer los elementos se utilizó la solución KCL-Olsen modificada. El porcentaje de C y N totales se determinó con el autoanalizador de C/N por combustión seca. / * Modified KCL-Olsen solution was used to extract the nutrients. Total percentage of C and N was determined with a C/N autoanalyzer by dry combustion.

¹ Capacidad de intercambio catiónico efectiva = acidez + Ca + Mg + K. / ¹ Effective cation exchange capacity = acidity + Ca + Mg + K.

² Porcentaje de saturación de acidez = (acidez/CICE) × 100. / ² Percentage of acidity saturation = (acidity/CEC) × 100.

³ Materia orgánica = % C total × 1,43. / ³ Organic matter = % C total × 1.43.

Discusión

La combinación de glifosato con flameo provocó la muerte total de *C. diffusa*. Aunque esta estrategia podría resultar útil para el control de dicha especie, el uso de glifosato tiene implicaciones en la sanidad de las plantas

de café, ya que este herbicida puede causar síntomas como el debilitamiento del crecimiento y un aumento en la susceptibilidad del ataque de patógenos (Ramírez Muñoz, 2021).

El difícil control de *C. diffusa* se debe a que esta especie se propaga de forma exitosa tanto asexual como sexualmente. La reproducción asexual ocurre mediante enraizamiento en los tallos, esquejes producidos a partir del tallo y fragmentos de la planta (Isaac et al., 2013). Este tipo de reproducción explica por qué, en este estudio, para lograr una mortalidad total de la especie fue necesaria la combinación del glifosato y flameo. El primer tratamiento causó un daño parcial, mientras que el segundo completó el efecto letal.

Consistente con otras publicaciones que han utilizado el flameo como estrategia, este tratamiento difícilmente proporciona un control eficaz sobre especies con reproducción vegetativa (Ascard, 1995), como es el caso de *C. diffusa*. El uso de dos estrategias para el combate de esta planta coincide con lo reportado por autores, quienes señalan que para su control se requiere seguir un programa de manejo integrado de arvenses (Isaac et al., 2013). De acuerdo con los resultados de esta investigación, *C. diffusa* podría controlarse mediante la combinación del método químico con un tratamiento térmico.

El uso de 300 kg/ha de nitrato de amonio con flameo a 120 kg/ha a los 25 y 10 dda, produjo una sintomatología moderada en las arvenses de hoja ancha. Los efectos por observados incluyeron clorosis generalizada y posterior necrosis del tejido interceptado por ambos tratamientos. Sin embargo, este efecto no perduró en la última evaluación, pues las plantas se recuperaron. A continuación, se detallan las posibles razones por las cuales el efecto conjunto de ambos tratamientos no fue persistente:

Primero, ambos tratamientos actúan por contacto, similar a los herbicidas de este tipo, por lo que no ocurre translocación del producto dentro de la planta (Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas, 2020). En el caso del flameo, su efecto se manifiesta al momento de la aplicación y no deja residuos dentro de la planta que puedan provocar un efecto a largo plazo (Ascard, 1995). El daño del nitrato de amonio en hoja ancha encontrado en este trabajo coincide con lo reportado por Bitterlich et al. (1996), quienes determinaron que las plantas arvenses pueden sobrevivir o recuperarse de este tratamiento, pero retrasan su crecimiento lo suficiente para no producir un impacto adverso en el rendimiento del cultivo.

Segundo, la eficacia de ambos tratamientos pudo estar influenciada por la edad de las plantas. El control térmico disminuye cuando las plantas se encuentran en etapas de desarrollo más avanzadas (Astatkie et al., 2007; Knezevic et al., 2014; Rifai et al., 2002). En este trabajo, las plantas se encontraban en posemergencia tardía. Al hacer la aplicación conjunta, las plantas tenían entre 10 y 25 cm de altura. En cuanto al nitrato de amonio, también se ha documentado que plantas con mayor crecimiento son menos susceptibles a la aplicación del fertilizante (Agamalian, 1988; Bitterlich et al., 1996).

Tercero, según Bitterlich et al. (1996), la alta cobertura de especies previo a la aspersión de nitrato de amonio puede causar una superposición de las hojas, lo que reduce la cobertura de la aspersión foliar y el control de arvenses. En el área experimental de este trabajo, se encontró una cobertura inicial de arvenses entre 75 y 100 %. La alta densidad de las plantas también puede afectar la eficacia del tratamiento térmico en hojas anchas (Ascard, 1995).

En cuanto al efecto independiente del nitrato de amonio (sin flameo), se evidenció un daño inicial leve en *C. diffusa* con ambas dosis de nitrato de amonio a los 15 dda. En las especies de hoja ancha, la dosis menor provocó un daño leve y la dosis mayor generó un daño moderado. No obstante, estos efectos no se mantuvieron en el tiempo, ya que en la última evaluación (60 dda) el daño fue equivalente al observado sin nitrato de amonio. A pesar de que el efecto del nitrato de amonio fue significativo en poáceas a los 25 y 60 dda, el daño causado por ambas dosis de fertilizante fue el mismo que el ocurrido en las parcelas sin nitrato.

El nitrato de amonio causó un daño inicial sobre *C. diffusa* y las especies de hoja ancha, debido a que este compuesto actúa por contacto (Agamalian, 1988; Bitterlich et al., 1996). En las hojas anchas, el efecto inicial fue más severo con la mayor dosis de nitrato de amonio (300 kg/ha), lo cual difiere de lo reportado por otros autores que encontraron que con dosis de 160 kg/ha el control de ciertas especies de hoja ancha fue eficaz, aunque con altos

volúmenes de aplicación 800 L/ha (Bitterlich et al., 1996), en comparación con el volumen empleado en la presente investigación que fue de 364,33 L/ha. Por lo tanto, es posible que el volumen utilizado en esta investigación influyera en la eficacia del nitrato de amonio.

El bajo nivel de baño causado por el nitrato de amonio también ha sido reportado con el uso de otra fuente de nitrógeno a base de nonanoato de amonio, debido a que herbicidas naturales con acción disruptiva de la membrana celular suelen tener baja eficacia (Johnson & Luo, 2018). En otra investigación con nonanoato de amonio se produjo un mayor daño en hojas anchas que en hojas angostas (Johnson & Luo, 2018), lo cual coincide con los resultados del presente trabajo. Esto se debe a que las especies de Poaceae poseen hojas en disposición vertical, lo que dificulta la llegada del producto al punto de crecimiento y, por tanto, limita su eficacia (Johnson & Luo, 2018).

Respecto al efecto independiente del flameo, solo fue significativo en el porcentaje de cobertura y en el daño de poáceas a los 10 dda, donde la dosis de 60 kg/ha resultó ser la óptima. Sin embargo, con dicha dosis no se logró un porcentaje de cobertura menor a la observada en el testigo. En otros reportes, el flameo fue menos efectivo en especies de hoja angosta (Datta & Knežević, 2013). En este trabajo, las poáceas solo fueron dañadas en las hojas, por lo que no fue posible su control eficaz mediante flameo, efecto que también fue descrito por Datta y Knežević (2013).

Conclusiones

Después de evaluar la eficacia del manejo de plantas arvenses con nitrato de amonio y flameo en un sistema de café, se concluye que esta estrategia resultó eficaz únicamente para el control de arvenses de hoja ancha. No se encontró eficacia para manejar Poaceae ni *C. diffusa*, que fueron los otros grupos evaluados.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Programa de Apoyo a Trabajos Finales de Graduación del Fondo Especial de Becas del Sistema de Estudios de Posgrado (SEP) y al proyecto de acción social ED-1816 “Capacitación, consultoría y diagnóstico con plantas arvenses” de la Universidad de Costa Rica, cuyo financiamiento hizo posible la realización de este trabajo. Al Ing. Mariano Vargas por proporcionar el espacio de trabajo donde se desarrolló esta investigación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Referencias

- Agamalian, H. S. (1988). Weed control in crucifer crops with nitrogen fertilizers. *California Agriculture*, 42(6), 16–17.
- Arcila, J., Farfán, F., Moreno, A., Salazar, L., & Hincapié, E. (2015). Sistemas de producción de café en Colombia. En H. F. Ospina, & S. M. Marín (Eds.), *Las arvenses y su manejo en los cafetales* (pp. 102–130). Centro Nacional de Investigaciones de Café.
- Ascard, J. (1995). *Thermal weed control by flaming: biological and technical aspects* [Doctoral dissertation, Swedish University of Agricultural Sciences]. http://pub.epsilon.slu.se/3853/1/ascard_j_091026.pdf

- Astatkie, T., Rifai, M. N., Havard, P., Adsett, J., Lacko-Bartosova, M., & Otepka, P. (2007). Effectiveness of hot water, infrared and open flame thermal units for controlling weeds. *Biological Agriculture & Horticulture*, 25(1), 1–12. <https://doi.org/10.1080/01448765.2007.10823205>
- Bitterlich, I., Upadhyaya, M. K., & Shibairo, S. I. (1996). Weed control in cole crops and onion (*Allium cepa*) using ammonium nitrate. *Weed Science*, 44(4), 952–958. <https://doi.org/10.1017/S0043174500094984>
- Centro de Investigaciones Agronómicas. (2021). *Suelos CR* (1.1.0) [Aplicación móvil]. App Store. <https://apps.apple.com/cr/app/suelos-cr/id1550353003>
- Datta, A., & Knežević, S. Z. (2013). Flaming as an alternative weed control method for conventional and organic agronomic crop production systems: a review. *Advances in Agronomy*, 118, 399–428. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405942-9.00006-2>
- Flame Engineering, Inc. (2025). *Weed Dragon® Torch Kits*. Retrieved February 23, 2025, from <https://flameengineering.com/collections/heavydutytorches>
- González Torres, A., Figueroa Viramontes, U., Preciado Rangel, P., Núñez Hernández, G., Luna Ortega, J. G., & Antuna Grijalva, O. (2016). Uso eficiente y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero en suelos diferentes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(2), 301–309. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i2.345>
- Henríquez, C., & Cabalceta, G. (1999). *Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola*. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Huerta-Olague, J. de J., Oropeza Mota, J. L., Guevara Gutiérrez, R. D., Ríos Berber, J. D., Martínez Menes, M. R., Barreto García, O. A., & Mancilla Villa, O. R. (2018). Efecto de la cobertura vegetal de cuatro cultivos sobre la erosión del suelo. *Idesia (Arica)*, 36(2), 153–162. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292018005000701>
- Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas. (2020). *Manual de plaguicidas de Centroamérica*. <https://www.iret.una.ac.cr/index.php/es>
- Isaac, W.-A., Gao, Z., & Li, M. (2013). Managing Commelina species: Prospects and limitations. In A. J. Price, & J. A. Kelton (Eds.), *Herbicides - Current Research and Case Studies in Use* (pp. 543–562). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/55842>
- Jhala, A. J., Knezevic, S. Z., Ganie, Z. A., & Singh, M. (2014). Integrated weed management in maize. In B. S. Chauhan, & G. Mahajan (Eds.), *Recent Advances in Weed Management* (pp. 177–196). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1019-9_8
- Johnson, W. C., & Luo, X. (2018). Cool-season weed control using ammonium nonanoate and cultivation in organic Vidalia® sweet onion production. *Weed Technology*, 32(1), 90–94. <https://doi.org/10.1017/wet.2017.91>
- Knezevic, S. Z., Stepanovic, S., & Datta, A. (2014). Growth stage affects response of selected weed species to flaming. *Weed Technology*, 28(1), 233–242. <https://doi.org/10.1614/WT-D-13-00054.1>
- Montero Blanco, D. (2017). *Manual de buenas prácticas de manejo en la fertilización nitrogenada del café*. Fundecooperación para el Desarrollo Sostenible & Fondo Multilateral de Inversiones. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-1419.pdf>
- Mortvedt, J. J. (2001). Calculating salt index. *Fluid Journal*, 9(2), 8–11. <https://fluidfertilizer.org/wp-content/uploads/2016/05/33P8-11.pdf>

- Ramírez Muñoz, F. (2021). *El herbicida glifosato y sus alternativas* (Serie Informes Técnicos IRET N° 44). Universidad Nacional, & Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas. https://ipen.org/sites/default/files/documents/serie_tecnica_44_glifosato_1_1.pdf
- Rifai, M. N., Astatkie, T., Lacko-Bartosova, M., & Gadus, J. (2002). Effect of two different thermal units and three types of mulch on weeds in apple orchards. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 1(5), 331–338. <https://doi.org/10.1139/s02-027>
- Roskopf, E. N. (2017). Bio-herbicides: An overview. In R. Zimdahl (Ed.), *Fundamentals of weed science* (5th ed., pp. 367–399). Elsevier. <http://dx.doi.org/10.19103/AS.2017.0025.20>
- Sierra, C. (1992). *Características físicas y químicas de algunos fertilizantes* [Boletín técnico]. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Recuperado marzo 20, 2022, de <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/39239>
- Villalobos, A., & Herrera Murillo, F. (1999). Control químico de *Polygonum aviculare* y otras malezas en el cultivo de la zanahoria (*Daucus carota*). *Revista de Agricultura Tropical*, 32, 7–16.