

Fecha de recibido: 11-02-2025

Fecha de aceptado: 09-09-2025

CONTROL DE ARVENSES AGRESIVAS EN LA ZONA CAFETERA MEDIANTE EL USO DE LAS AGUAS MIELES DEL CAFÉ POR FERMENTACIÓN AERÓBICA Y ANAERÓBICA

CONTROL OF AGGRESSIVE WEEDS IN COFFEE-GROWING AREAS USING COFFEE HONEY WATERS THROUGH AEROBIC AND ANAEROBIC FERMENTATION

Alexander Castro Polanco

Agrónomo, Ingeniero Industrial, Especialista en Biotecnología Agraria, Magíster en Desarrollo Rural, Universidad Nacional Abierta y Distancia (UNAD) - ECAPMA ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1450-5590>
email: alexander.castro@unad.edu.co

Diana Cristina Medina Valencia

Ingeniera Agrícola, Especialista en Biotecnología Agraria, Magíster en Tecnología Educativa. Universidad Nacional Abierta y Distancia (UNAD) - ECAPMA
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7767-4949>
email: cristina.medina@unad.edu.co

Citación: Castro-Polanco, A., Medina-Valencia, D. C. (2025). Control de arvenses agresivas en la zona cafetera mediante el uso de las aguas mieles del café por fermentación aeróbica y anaeróbica. *Working Papers ECAPMA*, 9, 190-209.
<https://doi.org/10.22490/ECAPMA.9932>





RESUMEN

Contextualización: la producción de café en Colombia es fundamental para la economía y el sustento de miles de familias, pero enfrenta desafíos como la competencia de arvenses por recursos esenciales, lo que reduce la productividad (Salazar-Gutiérrez e Hincapié, 2020). Tradicionalmente, se usan herbicidas químicos, que generan resistencia en arvenses y daños ambientales (Labrada y Parker, 1996). Esto ha impulsado la búsqueda de alternativas sostenibles como las aguas mieles del café, un subproducto rico en compuestos orgánicos con potencial herbicida.

Vacío de conocimiento: aunque estudios previos han explorado herbicidas naturales como el mucílago de cacao, hay poca investigación sobre la efectividad de las aguas mieles del café, especialmente en condiciones aeróbicas y anaeróbicas. Además, no se ha determinado cómo influyen factores como el tiempo de fermentación y la dosis en su eficacia. Este estudio busca llenar ese vacío, evaluando estos aspectos en el contexto cafetero de La Plata, Huila.

Propósito: el objetivo general fue evaluar el efecto de las aguas mieles como método de control de arvenses. Los objetivos específicos incluyeron caracterizar las especies de arvenses presentes, determinar la influencia de tiempos de

fermentación (8, 15 y 24 días) y dosis (1 y 5 litros) bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas, y monitorear su afectación en arvenses de hoja ancha y angosta.

Metodología: el estudio se realizó en la finca El Mirador, utilizando 36 marcos de guadua de 1 m². Se aplicaron aguas mieles fermentadas en dos condiciones (aeróbica y anaeróbica), tres tiempos de fermentación y dos dosis. La afectación se midió mediante observación visual de signos como marchitez y necrosis, calculando porcentajes de afectación por tipo de hoja.

Resultados y conclusiones: las fermentaciones prolongadas (24 días) y dosis altas (5 litros) bajo condiciones anaeróbicas fueron las más efectivas, logrando hasta un 98,57 % de afectación en arvenses de hoja ancha y 96,67 % en hoja angosta. Las arvenses de hoja ancha fueron más sensibles. Estos hallazgos sugieren que las aguas mieles pueden ser una alternativa viable a los herbicidas químicos, reduciendo costos e impactos ambientales. Sin embargo, se recomienda ampliar estudios para evaluar su estabilidad química y efectos a largo plazo en el suelo.

Palabras clave: mucílago de café, control de arvenses, herbicida natural, fermentación anaeróbica, caficultura sostenible, impacto ambiental.



ABSTRACT

Context: Coffee production in Colombia plays a vital role in the economy and sustains thousands of families, yet it faces challenges from weed competition for essential resources (water, light, and nutrients), which reduces productivity (Salazar- Gutiérrez e Hincapié, 2020). Conventional chemical herbicide use has led to weed resistance and environmental damage (Labrada y Parker, 1996), prompting the search for sustainable alternatives like coffee mucilage (“aguas mieles”), a byproduct rich in organic compounds with herbicidal potential.

Knowledge Gap: While previous studies have examined natural herbicides such as cocoa mucilage, limited research exists on coffee mucilage’s effectiveness, particularly under aerobic and anaerobic conditions. Furthermore, the influence of fermentation duration and application rates on its efficacy remains undetermined. This study addresses these gaps by evaluating these parameters in the coffee-growing region of La Plata, Huila.

Objectives: The primary aim was to assess coffee mucilage as a weed control method. Specific objectives included: (1) characterizing prevalent weed species, (2) determining the effects of fermentation periods (8, 15, and 24 days)

and application rates (1L and 5L) under aerobic/anaerobic conditions, and (3) monitoring its impact on broadleaf and grass-type weeds.

Methodology: Conducted at El Mirador farm, the study employed thirty-six 1m² bamboo quadrats. Fermented coffee mucilage was applied under two conditions (aerobic/anaerobic), three fermentation periods, and two application rates. Treatment efficacy was assessed through visual evaluation of wilting and necrosis symptoms, with damage percentages calculated by weed type.

Results and Conclusions: Extended fermentation (24 days) with high application rates (5L) under anaerobic conditions proved most effective, achieving 98.57% control of broadleaf weeds and 96.67% for grass-type weeds, with broadleaf species showing greater susceptibility. These findings position coffee mucilage as a viable alternative to synthetic herbicides, offering both economic and environmental benefits. However, further research is recommended to examine its chemical stability and long-term soil impacts.

Keywords: Coffee mucilage; Weed control; Bioherbicide; Anaerobic fermentation; sustainable coffee production; Environmental impact.




1. INTRODUCCIÓN

Colombia se destaca como uno de los principales productores mundiales de café con una producción de 680 mil toneladas de café, ubicándose como el tercer mayor productor a nivel mundial, detrás de Brasil y Vietnam (International Coffee Organization, 2023). La mayor parte de las áreas cultivadas se concentran en la región Andina, esto se da gracias a las condiciones óptimas para la producción de café, las cuales proporcionan un clima y altitudes ideales para el mismo (Lozano et al., 2011). Se destaca la presencia significativa de áreas cultivadas en los departamentos de Huila, Antioquia, Tolima y Cauca, con superficies de 144,1 ha, 117,5 ha, 106,9 ha y 91,9 ha, respectivamente, los cuales representan conjuntamente el 54,8 % del área cultivada a nivel nacional (Supersolidaria, 2024). En regiones como el municipio de La Plata, Huila, reconocido por su caficultura de alta calidad, el sistema de producción enfrenta desafíos permanentes relacionados con la sostenibilidad y la productividad. Uno de los principales problemas agronómicos es el manejo de las arvenses, también conocidas como malezas, que interfieren con el cultivo del café al competir por luz, agua, nutrientes y espacio radicular, generando reducciones en los rendimientos que pueden alcanzar hasta un 96 % en casos extremos (Salazar-Gutiérrez e Hincapié, 2020).

Tradicionalmente, el control de arvenses se ha llevado a cabo mediante el uso de herbicidas químicos, cuya aplicación continuada ha derivado en múltiples problemáticas. El control químico se realiza interrumpiendo el crecimiento o inhibiendo por medio de sustancias de origen químico que actúan sobre la planta provocando su muerte. Sin embargo, una mala cobertura o aplicación de dosis fuera del rango recomendado tiene consecuencias como la persistencia de las malezas y que estas compitan con el cultivo por nutrientes, espacio y luz, y el posible riesgo de desarrollo de resistencia (Intagri S.C., s.f.).

Lo anterior ha generado la necesidad de buscar soluciones sostenibles y económicamente viables, alineadas con los principios de producción limpia. En este contexto, el aprovechamiento de subproductos agroindustriales ha cobrado especial relevancia, como una alternativa al uso de herbicidas químicos, que también permite transformar residuos contaminantes en insumos útiles para el manejo sostenible de arvenses en sistemas productivos como la caficultura.

El mucílago del café, conocido comúnmente como aguas mieles, es un subproducto líquido generado durante el proceso de despulpado del café. Estas aguas mieles contienen una variedad de compuestos orgánicos, incluyendo azúcares,



ácidos orgánicos y nutrientes, que podrían tener propiedades herbicidas. Su uso como alternativa al control de arvenses se basa en su potencial para inhibir el crecimiento de estas plantas competidoras (Puerta Quintero et. al, 2012).

En ese sentido, con el proyecto desarrollado en la finca El Mirador, vereda El Cabuyal (La Plata, Huila), se propuso evaluar la eficacia del uso de aguas mieles del café fermentadas aeróbica y anaeróbicamente para el control de arvenses de hoja ancha y hoja angosta, a través de la aplicación de diferentes dosis (1 y 5 litros por metro cuadrado) y tiempos de fermentación (8, 15 y 24 días). Los resultados más prometedores se obtuvieron con fermentaciones anaeróbicas de 24 días, que alcanzaron niveles de afectación superiores al 89 % en arvenses de hoja ancha y al 80 % en arvenses de hoja angosta (Trujillo González, 2025).

Además de su efectividad como bioinsumo, el uso de aguas mieles del café re-

presenta una estrategia para cerrar ciclos productivos, reducir la dependencia de agroquímicos, disminuir los costos de producción y minimizar los impactos negativos sobre el ambiente. Esta propuesta se enmarca en el concepto de economía circular agroecológica, donde los residuos de un proceso se convierten en recursos útiles para otros, promoviendo la resiliencia de los agroecosistemas y la sostenibilidad del sector cafetero.

Finalmente, esta investigación aporta conocimientos relevantes para los caficultores de la región y fortalece el campo de la agronomía aplicada en el contexto colombiano, ofreciendo una herramienta práctica de bajo costo y alta efectividad para el manejo de arvenses en cafetales. Así, se responde a una necesidad urgente de innovación en el manejo de la biodiversidad espontánea en sistemas agrícolas, promoviendo al mismo tiempo la protección del entorno y el bienestar de las comunidades rurales.

2. METODOLOGÍA

Esta investigación se desarrolló en la finca El Mirador, ubicada en la vereda El Cabuyal, municipio de La Plata, Huila, a una altitud de 1040 m s. n. m. y con condiciones climáticas favorables para el cultivo de café. La metodología se estructuró en tres fases: caracterización de arvenses, preparación y aplicación de tratamientos con aguas mieles, y evaluación de la afectación de arvenses.

2.1 Caracterización de especies arvenses

Se realizó una identificación taxonómica de las especies presentes en las parcelas experimentales mediante el uso de la aplicación PlantNet y validación bibliográfica con fuentes especializadas en flora arvense de zonas cafeteras. Se clasificaron las especies en dos grupos: hoja ancha y hoja angosta, para facilitar su análisis en función de los tratamientos (figura 1).

► **Figura 1.** Caracterización de arvenses presentes en las parcelas



Fuente: Trujillo González, 2025.

2.2 Preparación de aguas mieles

El subproducto del despulpado del café fue recolectado y sometido a procesos

de fermentación controlada en bidones adecuados (figura 2): 18 litros para el proceso aeróbico (con acceso al oxígeno) y 20 litros para el anaeróbico (sin acceso al oxígeno).

► **Figura 2.** Recolección de aguas mieles



Fuente: Trujillo González, 2025.

2.3 Diseño experimental

Se establecieron 36 parcelas de un metro cuadrado cada una, demarcadas con

marcos de guadua y distribuidas en zigzag dentro de cafetales (figura3).

► **Figura 3.** Elaboración de marcos de guadua de 1 metro cuadrado por 36 unidades



Fuente: Trujillo González, 2025.

A cada parcela se le aplicaron tratamientos con aguas mieles fermentadas bajo dos condiciones (aeróbica y anaeróbica), en dos dosis (1 litro y 5 litros) y en

tres tiempos de fermentación (8, 15 y 24 días), lo que dio lugar a un diseño factorial. Cada combinación fue replicada tres veces (figura 4).

► **Figura 4.** Almacenamiento de fermentación del aguamiel



Fuente: Trujillo González, 2025.

2.4 Aplicación de tratamientos y seguimiento

Los tratamientos fueron aplicados directamente sobre las parcelas a intervalos

definidos según el tiempo de fermentación (figura 5).

► **Figura 5.** Aplicación de tratamientos



Fuente: Trujillo González, 2025.

La afectación de las arvenses fue evaluada visualmente mediante registros de síntomas como clorosis, necrosis y marchitez.

Se calculó el porcentaje de afectación con base en la proporción de plantas impactadas respecto al total, mediante la fórmula:

$$\%Afectación = \left(\frac{\text{Número de plantas afectadas}}{\text{Número total de plantas en el cuadro}} \right) \times 100$$

■ **Tabla 1.** Distribución de cuadros experimentales según tipo de fermentación, tiempo y dosis de aplicación

Tipo de fermentación	Días de fermentación	Dosis (L)	N.º de cuadros
Aeróbica	8	1	3
Aeróbica	8	5	3
Aeróbica	15	1	3
Aeróbica	15	5	3
Aeróbica	24	1	3
Aeróbica	24	5	3
Anaeróbica	8	1	3
Anaeróbica	8	5	3
Anaeróbica	15	1	3
Anaeróbica	15	5	3
Anaeróbica	24	1	3
Anaeróbica	24	5	3

Fuente: Trujillo González, 2025.

2.5 Análisis de datos

Los resultados obtenidos fueron organizados por tipo de arvense, dosis, método y duración de la fermentación. Se elaboraron tablas y gráficas para ilustrar

los niveles de afectación y se interpretaron comparativamente entre los diferentes tratamientos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización inicial de las arvenses presentes en la finca El Mirador permitió identificar una diversidad significativa de especies tanto de hoja ancha como de hoja angosta. Entre las más frecuentes se encontraron *Digitaria sanguinalis*, *Commelina diffusa*, *Amaranthus spinosus*, *Drymaria cordata*, *Polygonum nepalense* y *Galinsoga parviflora*. Estas especies fueron identificadas a través de herramientas botánicas digitales (PlantNet) y validadas mediante bibliografía especializada (Salazar-Gutiérrez e Hincapié, 2020).

En cuanto al monitoreo del efecto de diferentes dosis y tratamientos con aguas mieles de café sobre arvenses de hoja ancha y hoja angosta, se presentan las siguientes tablas resumen del trabajo de evaluación en campo, cuyo propósito fue determinar el efecto de las aguas mieles fermentadas sobre las arvenses, diferenciadas por tipo de hoja. Se incluyen los datos obtenidos en cada fase y tiempo de fermentación, así como las dosis aplicadas y el momento de aplicación, identificados mediante el ítem “código del marco”.

■ **Tabla 2.** Registros de afectación en la aplicación aeróbica a los ocho días de fermentación

Código del marco	Cantidad aplicada	% en el marco (hoja ancha)	% afectación (hoja ancha)	% en el marco (hoja angosta)	% afectación (hoja angosta)
1-AE-1-1	1 litro	80	61	20	11
2-AE-1-1	1 litro	70	36	30	1
3-AE-1-1	1 litro	95	71	5	1
1-AE-5-1	5 litros	70	71	30	31
2-AE-5-1	5 litros	95	67	5	1
3-AE-5-1	5 litros	90	89	10	9

Fuente: Trujillo González, 2025.



En la tabla 2 se observa que los tratamientos con mayor volumen (5 litros) generaron los niveles más altos de afectación, especialmente en las especies de hoja angosta, donde se alcanzaron valores de hasta un 83 % (tratamientos 1-AN-5-1 y 2-AN-5-1). En las especies de hoja ancha la respuesta fue más variable; sin embargo, el tratamiento 3-AN-5-1 mostró una afectación destacada del 89 %,

indicando una posible relación entre el incremento del volumen aplicado y el aumento de la fitotoxicidad bajo condiciones sin oxígeno. Estos resultados evidencian que la combinación de volumen y tipo de fermentación puede influir significativamente en la eficacia del tratamiento, con mayor impacto sobre las especies de hoja angosta en esta fase temprana de fermentación.

■ **Tabla 3.** Registro de aplicación anaeróbica, 8 días de fermentación

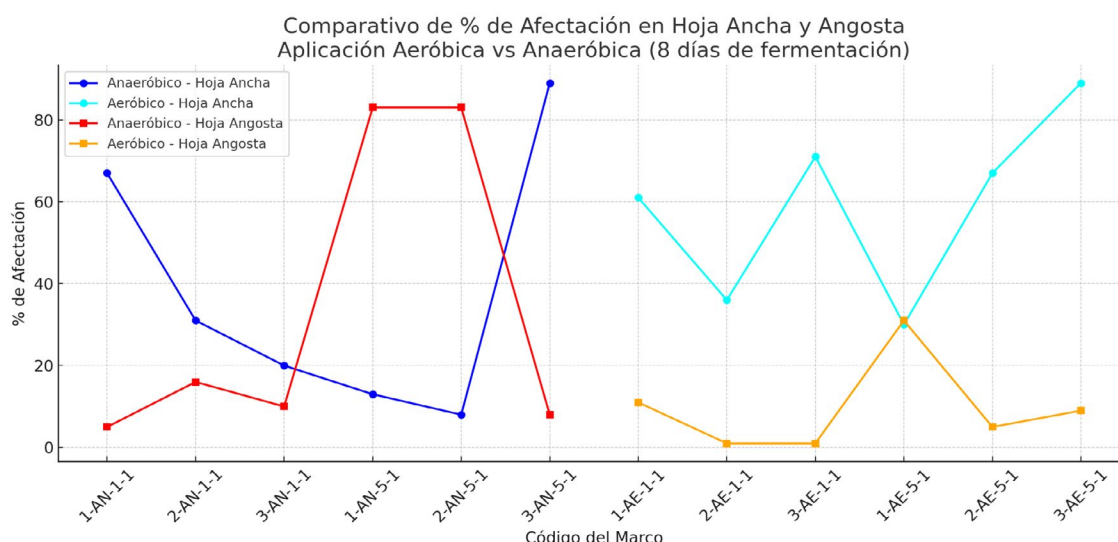
Código del marco	Cantidad	% en el marco (hoja ancha)	% afectación (hoja ancha)	% en el marco (hoja angosta)	% afectación (hoja angosta)
1-AN-1-1	1 litro	90	67	10	5
2-AN-1-1	1 litro	60	31	40	16
3-AN-1-1	1 litro	90	20	10	10
1-AN-5-1	5 litros	15	13	85	83
2-AN-5-1	5 litros	10	8	90	83
3-AN-5-1	5 litros	90	89	10	8

Fuente: Trujillo González, 2025.

La tabla 3 resume la afectación de arvenses tras el tratamiento aeróbico con 8 días de fermentación. A diferencia del tratamiento anaeróbico, la afectación general fue menor, especialmente en especies de hoja angosta, donde la mayoría de los tratamientos no superaron el 11 % de afectación. En hoja ancha se

observaron niveles de afectación más altos, alcanzando hasta un 89 % en el tratamiento 3-AE-5-1 con 5 litros, lo que sugiere que, bajo condiciones aeróbicas, el volumen también influye en la respuesta de las arvenses de hoja ancha, aunque con menor impacto sobre las especies de hoja angosta.

► **Figura 6.** Gráfico comparativo % de afectación, 8 días de fermentación



Fuente: elaboración propia.

En el figura 6 se observa con claridad que las líneas correspondientes al tratamiento anaeróbico muestran mayor variabilidad y picos pronunciados, especialmente en afectación de hoja angosta en los tratamientos con mayor volumen (5 litros). En contraste, las líneas del tratamiento aeróbico presentan un comportamiento más

uniforme y con valores de afectación generalmente más bajos, lo cual refuerza la idea de que las condiciones con oxígeno son menos agresivas para el cultivo. Este gráfico facilita la identificación de patrones de respuesta y apoya la toma de decisiones respecto al tipo de fermentación y volumen de aplicación más adecuados.

■ **Tabla 4.** Registros de aplicación aeróbica de quince días de fermentación

Código del marco	Cantidad	% en el marco (hoja ancha)	% afectación (hoja ancha)	% en el marco (hoja angosta)	% afectación (hoja angosta)
1-AE-1-2	1 litro	40	12	60	14
2-AE-1-2	1 litro	95	8	5	3
3-AE-1-2	1 litro	90	11	10	5
1-AE-5-2	5 litros	70	38	30	25
2-AE-5-2	5 litros	95	45	5	4
3-AE-5-2	5 litros	95	32	5	4

Fuente: Trujillo González, 2025.

La tabla 4 muestra que la afectación en hoja angosta se mantuvo baja, con valores inferiores al 14 % en todos los tratamientos. En cambio, las especies de hoja ancha registraron una afectación más significativa, destacándose el tratamiento 2-AE-5-2 con un 45 %. Estos datos

indican que, bajo condiciones aeróbicas prolongadas (15 días), la afectación sigue siendo moderada en hoja angosta, mientras que las especies de hoja ancha son más susceptibles a los compuestos generados, especialmente cuando se aplica un mayor volumen.

■ **Tabla 5.** Registro de aplicación anaeróbico, 15 días de fermentación

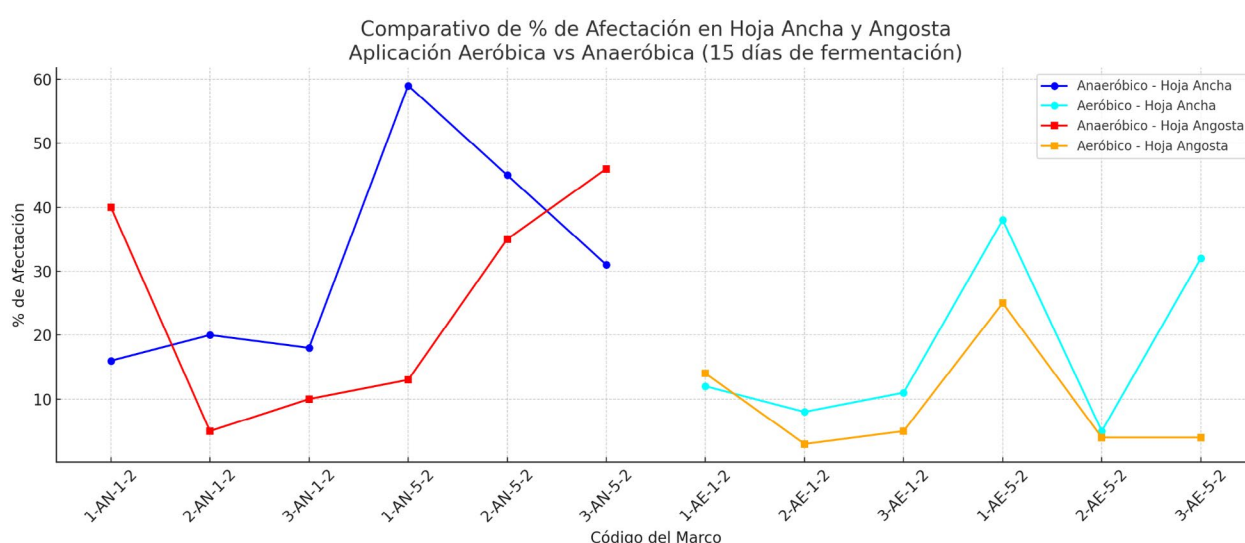
Código del marco	Cantidad	% en el marco (hoja ancha)	% afectación (hoja ancha)	% en el marco (hoja angosta)	% afectación (hoja angosta)
1-AN-1-2	1 litro	30	16	70	40
2-AN-1-2	1 litro	95	20	5	3
3-AN-1-2	1 litro	90	18	10	6
1-AN-5-2	5 litros	85	59	15	13
2-AN-5-2	5 litros	60	45	40	35
3-AN-5-2	5 litros	40	31	60	46

Fuente: Trujillo González, 2025.

En la tabla 5 se evidencia un aumento importante en la afectación general bajo condiciones anaeróbicas prolongadas. Las especies de hoja angosta presentaron afectaciones de hasta 70 % en el tratamiento 1-AN-1-2, mientras que en hoja ancha se registraron valores máxi-

mos de 59 % con aplicaciones de 5 litros. Esto sugiere que el ambiente sin oxígeno favorece la producción de sustancias tóxicas que incrementan la fitotoxicidad, afectando tanto a la hoja ancha como a la angosta, con una ligera mayor susceptibilidad en estas últimas.

► **Figura 7.** Gráfico comparativo % de afectación, 15 días de fermentación



Fuente: elaboración propia.

En la figura 7 se observa de forma clara que las líneas correspondientes a la aplicación anaeróbica muestran mayores variaciones y en algunos puntos niveles elevados de afectación, especialmente en hojas angostas. En contraste, las líneas correspondientes a los tratamien-

tos aeróbicos se mantienen relativamente estables y con valores más bajos. Esto respalda visualmente la conclusión de que la fermentación aeróbica tiene un efecto más positivo en la salud foliar que la anaeróbica tras 15 días de tratamiento.

■ **Tabla 6.** Registro de aplicación aeróbica, 24 días de fermentación

Código del marco	Cantidad	% en el marco (hoja ancha)	% afectación (hoja ancha)	% en el marco (hoja angosta)	% afectación (hoja angosta)
1-AE-1-3	1 litro	90	75	10	8
2-AE-1-3	1 litro	80	66	20	16
3-AE-1-3	1 litro	70	47	30	20
1-AE-5-3	5 litros	70	65	30	28
2-AE-5-3	5 litros	85	84	15	15
3-AE-5-3	5 litros	95	93	5	4

Fuente: Trujillo González, 2025.

Según la tabla 6, la afectación en especies de hoja ancha aumentó considerablemente, con valores entre 47 % y 93 %, mientras que en hoja angosta se mantuvo baja, sin superar el 28 %. Este comportamiento sugiere que el tratamiento aeróbico prolongado genera sustancias

que afectan principalmente a especies de hoja ancha. Las especies de hoja angosta demostraron mayor resistencia, reflejando una menor respuesta negativa, incluso ante volúmenes y tiempos de exposición mayores.

■ **Tabla 7.** Registro de aplicación anaeróbica,24 días de fermentación

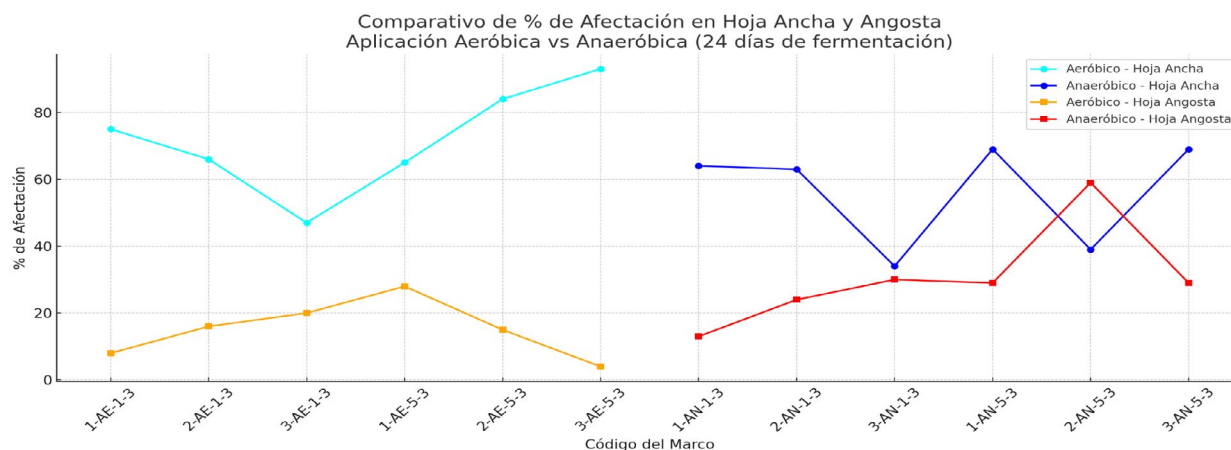
Código del marco	Cantidad	% en el marco (hoja ancha)	% afectación (hoja ancha)	% en el marco (hoja angosta)	% afectación (hoja angosta)
1-AN-1-3	1 litro	80	64	20	13
2-AN-1-3	1 litro	70	63	30	24
3-AN-1-3	1 litro	50	34	50	30
1-AN-5-3	5 litros	70	69	30	29
2-AN-5-3	5 litros	40	39	60	29
3-AN-5-3	5 litros	70	69	30	29

Fuente: Trujillo González, 2025.

La tabla 7 muestra que los tratamientos anaeróbicos de 24 días generaron una elevada afectación en ambas categorías foliares. Las especies de hoja ancha alcanzaron valores de hasta 69 %, mientras que las de hoja angosta registraron afectaciones superiores al 30 %, con un

máximo de 59 %. Estos resultados confirman que la fermentación prolongada sin oxígeno potencia la toxicidad de los extractos, logrando un efecto fitotóxico importante en ambos tipos de arvenses, aunque con una tendencia levemente mayor hacia las especies de hoja ancha.

► **Figura 8.** Gráfico comparativo % de afectación, 24 días de fermentación



Fuente: elaboración propia.

El figura 8 permite visualizar claramente que la aplicación aeróbica genera menor afectación en hoja angosta en todos los tratamientos evaluados, en contraste con la anaeróbica, donde la afectación es superior. En hoja ancha, ambos métodos muestran afectaciones altas, pero el aeróbico presenta una distribución más controlada y homogénea. Este comportamiento confirma que la fermentación

aeróbica podría ser más favorable para reducir la afectación en hoja angosta sin comprometer la cobertura del marco.

Los tratamientos aplicados con aguas mieles del café fermentadas (en condiciones aeróbicas y anaeróbicas), en distintas dosis (1 L y 5 L) y tiempos de fermentación (8, 15 y 24 días), arrojaron los siguientes resultados destacados:

■ **Tabla 8.** Resumen con los resultados de afectación en arvenses según los días de fermentación de las aguas mieles de café

Momento (días de fermentación)	Afectación hoja ancha (%)	Afectación hoja angosta (%)
8 días	47,37	80,00
15 días	69,41	86,67
24 días	98,89	80,00

Fuente: elaboración propia.

Primer momento (8 días de fermentación):

- La aplicación aeróbica con 5 litros logró los mejores resultados en este periodo, con un 80 % de afectación en especies de hoja angosta, mientras que en hoja ancha la afectación fue del 47,37 %.
- La fermentación anaeróbica en este mismo tiempo presentó una menor eficacia, lo que sugiere que los compuestos tóxicos necesarios para inhibir el crecimiento de arvenses aún no se habían desarrollado en suficiente concentración durante este corto periodo de fermentación sin oxígeno.
- En este momento se observó que las arvenses de hoja angosta fueron más susceptibles que las de hoja ancha, lo que contrasta con los momentos posteriores.

Segundo momento (15 días):

- Las aplicaciones anaeróbicas con 5 litros alcanzaron 69,41 % de afectación en hoja ancha y 86,67 % en hoja angosta.
- Se evidenció una mayor eficiencia en comparación con los tratamientos del primer momento.
- Este incremento en la efectividad indica que durante los 15 días de fermentación

anaeróbica se generaron metabolitos alelopáticos o ácidos orgánicos de mayor toxicidad, coincidiendo con estudios similares realizados con mucílago de cacao (Hipo, 2017).

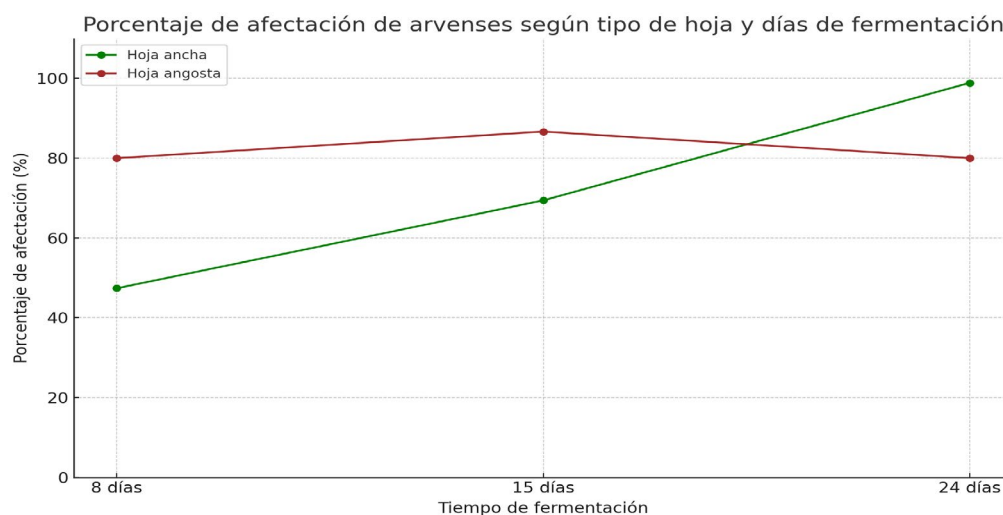
Tercer momento (24 días):

- La fermentación anaeróbica con 5 litros fue la más efectiva de todos los tratamientos evaluados, alcanzando 98,89 % de afectación en especies de hoja ancha y 80 % en hoja angosta.
- Este resultado confirma la hipótesis de que los procesos anaeróbicos prolongados generan compuestos más fitotóxicos o en mayor concentración, como ácidos volátiles o alcoholes de cadena corta, que afectan especialmente a las especies de hoja ancha, debido a su mayor permeabilidad foliar.
- Las especies de hoja angosta, al presentar cutículas más gruesas y resistentes (propias de las gramíneas), mostraron una mayor tolerancia al tratamiento.

Comparación general entre tratamientos

La fermentación anaeróbica con 5 litros fue la más efectiva de todos los tratamientos evaluados, alcanzando 98,89 % de afectación en especies de hoja ancha y 80 % en hoja angosta.

► **Figura 9.** Gráfico comparativo % de afectación según tipo de hoja



Fuente: elaboración propia.

Estos resultados sugieren que tanto el tiempo de fermentación como la dosis y el tipo de fermentación influyen significativamente en la eficacia de las aguas mieles como bioherbicida. Además, respaldan la hipótesis inicial del proyecto: las aguas mieles del café, especialmente cuando se someten a procesos de fermentación anaeróbica prolongada y se aplican en dosis altas, tienen un efecto inhibitorio notable sobre las arvenses (figura 9).

La efectividad creciente con el tiempo de fermentación sugiere una transformación bioquímica de los compuestos activos presentes en el mucílago, posiblemente aumentando la concentración de ácidos orgánicos, alcoholes y otras sustancias fitotóxicas. Estudios previos como el de Hipo (2017) con mucílago de cacao coinciden con estos hallazgos, resaltando el papel del tiempo de fermentación en la potenciación del efecto alelopático.

La mayor susceptibilidad de las arvenses de hoja ancha podría explicarse por su estructura foliar más permeable, permitiendo una absorción más rápida de los compuestos tóxicos. Por el contrario, las especies de hoja angosta, como las gramíneas, presentan cutículas más resistentes y mecanismos de tolerancia que dificultan la acción herbicida.

Además, la fermentación anaeróbica superó consistentemente a la aeróbica en efectividad, lo que podría estar relacionado con la acumulación de compuestos más tóxicos en condiciones sin oxígeno, como ciertos ácidos volátiles o alcoholes de cadena corta.

Este estudio refuerza la viabilidad de las aguas mieles del café como alternativa sostenible a los herbicidas químicos. Al tratarse de un residuo agroindustrial de fácil disponibilidad, su uso también aporta a la gestión integral de residuos y a la reducción de costos para pequeños y medianos productores.

4. CONCLUSIONES

El desarrollo de esta investigación permitió evidenciar que las aguas mieles del café, tradicionalmente consideradas un residuo contaminante, pueden convertirse en un insumo útil dentro del manejo agroecológico del cultivo de café. Su aplicación fermentada mostró efectos relevantes sobre las arvenses presentes, especialmente aquellas de hoja ancha, abriendo posibilidades para reducir la dependencia de herbicidas químicos en la caficultura local.

Los resultados obtenidos muestran que el proceso de fermentación influye de forma significativa en la efectividad del tratamiento. En particular, las fermentaciones de 24 días bajo condiciones anaeróbicas y con dosis de 5 litros por metro cuadrado lograron los mayores porcentajes de afectación sobre las arvenses de hoja ancha, alcanzando hasta 98,89 % de control.

Este hallazgo permite señalar que tanto la duración del proceso como el tipo de fermentación y la dosis aplicada son variables críticas para la optimización de este bioinsumo.

La caracterización taxonómica de las especies presentes en las parcelas experimentales permitió establecer diferencias importantes en la respuesta al tratamiento entre arvenses de hoja ancha y de hoja angosta. Las primeras presentaron una mayor sensibilidad, mientras que las segundas mostraron mayor resistencia al efecto fitotóxico de las aguas mieles. Este comportamiento diferencial sugiere la necesidad de diseñar estrategias específicas de aplicación según la composición florística de los lotes, lo cual resulta relevante para ajustar las prácticas a las condiciones reales del productor.

Desde una perspectiva de sostenibilidad, se demuestra que es posible aprovechar subproductos de la agroindustria local para enfrentar problemáticas agronómicas recurrentes, representando una alternativa económica viable para pequeños y medianos productores, contribuyendo a reducir la carga contaminante sobre suelos y fuentes hídricas.

REFERENCIAS

- Hipo, M. (2017). Aplicación de mucílago de semillas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el control de malezas. <https://scispace.com/papers/aplicacion-de-mucilago-de-semillas-de-cacao-theobroma-cacao-5ltoex2hob>
- Intagri S. C. (s.f.). *Los riesgos de una mala aplicación de herbicidas*. <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/los-riesgos-de-una-mala-aplicacion-de-herbicidas>
- International Coffee Organization [OIC]. (2023). Coffee report and outlook. https://icocoffee.org/documents/cy2023-24/Coffee_Report_and_Outlook_December_2023_ICO.pdf
- Labrada, R., Caseley, J. C. y Parker, C. (1996). *Manejo de malezas para países en desarrollo*, 120. Food & Agriculture Org. <https://www.fao.org/4/t1147s/t1147s00.htm>
- Lozano, A., Samper, L. F. y García, J. (2011). Las indicaciones geográficas (IG) y la ciencia como instrumento de competitividad: el caso del café de Colombia. *Revista Ensayos sobre Economía Cafetera*, 27, 11-49. chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://federaciondecafeteros.org/static/files/Las_Indicaciones_Geograficas.pdf
- Puerta Quintero, G. I., Marín Mejía, J. y Osorio Betancurt, G. A. (2012). Microbiología de la fermentación del mucílago de café según su madurez y selección. *Revista Cenicafé*, 63(2): 58-78. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/536/1/arc063%2802%2958-78.pdf>
- Salazar-Gutiérrez, L. e Hincapié, E. (2020). Las arvenses y su interferencia en los sistemas de producción de café. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.). *Manejo agronómico de los sistemas de producción de café*, 124-148. Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0002_4
- Superintendencia de la Economía Solidaria [Supersolidaria]. (2024, mayo 15). *Norma Técnica Sectorial NTS 002 de 2024*. https://www.supersolidaria.gov.co/sites/default/files/gad_2024/20240515_nts_002.pdf
- Trujillo González, E. E. (2025). *Evaluación de aguas mieles del café como método de control de arvenses de alta interferencia en zona cafetera del municipio de La Plata, Huila*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). <http://hdl.handle.net/10596/68986>