

EVALUACIÓN DE DOS MÉTODOS DE BIOCONTROL DE MALEZAS SOBRE DOS ETAPAS DE CRECIMIENTO EN PALMA AFRICANA (*Elaeis guineensis* Jacq.) EN ECUADOR

EVALUATION OF TWO WEED BIOCONTROL METHODS AT TWO GROWTH STAGES OF AFRICAN OIL PALM (*Elaeis guineensis* Jacq.) IN ECUADOR

Jaime Fabián Vera Chang^{1a,2a}, Antonio Alexander Goya Baquerizo^{2a}, Luis Humberto Vásquez Cortez^{3,5*}, Andry Annabel Álvarez Aspiazu^{1b}, Julieth Dennyse González Cevallos^{2b} y Miguel Ángel Enríquez Estrella^{4,5}

^{1a} Facultad de Ciencias de la Industria y Producción, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, CP 120550, Quevedo, Provincia de Los Ríos, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0001-6127-2307>

^{2a} Maestría en Biotecnología Agropecuaria, Facultad de Posgrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, CP 120550, Quevedo, Provincia de Los Ríos, Ecuador
<https://orcid.org/0009-0009-9990-9364>

³ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Babahoyo, CP 120102, Babahoyo, Provincia de Los Ríos, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0003-1850-0217>

^{1b} Facultad de Ciencias de la Industria y Producción, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, CP 120550, Quevedo, Provincia de Los Ríos, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0003-4668-1596>

^{2b} Maestría en Biotecnología Agropecuaria, Facultad de Posgrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, CP 120550, Quevedo, Provincia de Los Ríos, Ecuador
<https://orcid.org/0009-0009-7537-8941>

⁴ Departamento de Procesos Industriales y Alimentarios, Universidad Estatal Amazónica, CP 160150, Puyo, Provincia de Pastaza, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-8937-9664>

⁵ Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad Nacional de Cuyo, ICAI-Conicet, San Rafael 5600, Mendoza, Argentina

* Autor para correspondencia: lvazquezc@utb.edu.ec

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue comparar dos métodos de biocontrol de malezas en distintas etapas fenológicas de la palma africana (*Elaeis guineensis*), con el fin de evaluar su eficacia como estrategia sostenible para el manejo del cultivo. La investigación experimental utilizó un diseño de bloques completamente al azar con arreglo de parcelas divididas en plantas adultas y juveniles, con métodos cuantitativos para medir la densidad de malezas y cualitativos para evaluar el control logrado con los tratamientos. Los resultados mostraron diferencias significativas entre plantas juveniles y adultas. El tratamiento con mucílago de cacao más vinagre demostró una alta afectación en las malezas, con un 87,00%, según la Escala de la Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM). En contraste, los tratamientos de control manual mostraron menores porcentajes de afectación. Se observó mayor altura de malezas en el tratamiento con biocontrol de ácido piroleñoso más vinagre. En conclusión, es importante considerar la edad y el estado de desarrollo de las plantas al seleccionar

métodos de control de malezas en cultivos de palma africana. La investigación destaca por la comparación directa de dos métodos de biocontrol en diferentes etapas de crecimiento de la palma africana, aportando conocimientos útiles para mejorar las prácticas agrícolas en este cultivo.

Palabras clave: ácido piroleñoso, análisis económico, eficiencia, mucílago de cacao.

ABSTRACT

The objective of this study was to compare two weed biocontrol methods at different growth stages of African oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) to evaluate their effectiveness as a sustainable strategy for crop management. The experimental study used a completely randomized block design with a split-plot arrangement involving adult and juvenile plants, with quantitative methods to measure weed density and qualitative methods used to assess the level of control achieved by the treatments. The results showed significant differences between juvenile and adult plants. The treatment with cocoa mucilage plus vinegar showed a high level of weed damage, reaching 87%, according to the Latin American Weed Association (ALAM) scale. In contrast, the manual weed control treatments showed lower percentages of damage. Greater weed height was observed in the pyroleanic acid plus vinegar biocontrol treatment. In conclusion, it is important to consider plant age and growth stage when selecting weed control methods in African oil palm crop. This study stands out for its direct comparison of two biocontrol methods at different growth stages of African oil palm, providing useful insights for improving agricultural practices in this crop.

Keywords: Pyroligneous acid, economic analysis, efficiency, cocoa mucilage.

INTRODUCCIÓN

Malasia, Indonesia y Nigeria lideran la producción mundial de aceite crudo de palma, concentrando más del 80% del total. Estos países presentan altos rendimientos, con promedios cercanos a 20 t·ha⁻¹ y valores que pueden alcanzar hasta 25 t·ha⁻¹.

En Ecuador, el cultivo de palma africana ha experimentado un crecimiento sostenido, especialmente en la región Amazónica, donde se registran aproximadamente 280.000 hectáreas cultivadas (Gómez, 2020). No obstante, debido a deficiencias en el manejo agronómico y a la limitada inversión en tecnología, los rendimientos se mantienen entre los más bajos de la región, con un promedio cercano a 14,12 t·ha⁻¹ (Becerra et al., 2023). Esta cifra es inferior a la de países vecinos como Colombia y Perú, cuyos rendimientos fluctúan entre 16,65 y 15,00 t·ha⁻¹, respectivamente.

En la década de 1950, los pesticidas químicos se consideraban un avance científico importante para enfrentar problemas fitosanitarios en la agricultura. Sin embargo, su uso constante ha causado impactos ambientales negativos, alterando los ecosistemas (Rodríguez et al., 2014). La palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.), una fuente crucial de aceite vegetal con creciente importancia económica y social en países tropicales como Ecuador, enfrenta el desafío del control de malezas. Las malezas compiten por recursos esenciales como agua, luz y nutrientes,

lo que afecta negativamente el rendimiento y la calidad del cultivo (Bedmar et al., 2002). Dentro de este contexto productivo, las arvenses pueden actuar como reservorio de plagas y enfermedades, como ocurre en el caso de la marchitez letal (Santillán et al., 2015), lo que refuerza la necesidad de su manejo eficiente. En consecuencia, el control de arvenses en un radio de 2,5–3 m alrededor del estípite de la palma constituye una práctica agronómica clave para reducir la competencia por recursos y facilitar las labores de manejo del cultivo (Rivera et al., 2020). Tradicionalmente, su control se ha basado en el uso de métodos químicos; sin embargo, sus impactos ambientales y riesgos para la salud han impulsado la búsqueda de alternativas más sostenibles (Enríquez et al., 2026).

En este contexto, el uso de bioherbicidas se presenta como una alternativa sostenible y ambientalmente viable para el manejo de malezas en sistemas agrícolas como la palma africana. Los bioherbicidas comprenden sustancias de origen biológico, tales como extractos vegetales, subproductos orgánicos y compuestos naturales con actividad fitotóxica, entre los que destacan el ácido piroleñoso, el mucílago y el ácido acético (vinagre). Diversos estudios han demostrado la eficacia de estos compuestos en la supresión de malezas, dependiendo de factores como la concentración, volumen de aplicación y estadio de desarrollo de las plantas objetivo. Por ejemplo, investigaciones recientes evidencian que el ácido acético puede actuar como herbicida de contacto

efectivo, mientras que otros bioproductos derivados de biomasa lignocelulósica presentan potencial como agentes bioherbicidas en sistemas agrícolas sostenibles (Vera et al., 2025; Vera Chang et al., 2025; Valverde et al., 2025).

La incorporación de bioherbicidas en el manejo de malezas contribuiría a reducir el uso de herbicidas sintéticos y sus impactos ambientales asociados. No obstante, a pesar del creciente interés en el uso de compuestos de origen biológico, persiste un vacío de conocimiento respecto a la diferenciación del mecanismo de acción y la eficacia relativa de formulaciones compuestas por subproductos orgánicos, particularmente en sistemas perennes tropicales como *E. guineensis*. Estudios previos han reportado resultados positivos en el uso de bioinsumos como el mucílago de cacao y el ácido acético; sin embargo, no se ha establecido con claridad si el efecto herbicida observado responde al papel activo del mucílago como agente fitotóxico o, por el contrario, a la acción dominante del ácido acético, o incluso a una posible interacción sinérgica entre ambos componentes. En este contexto, la presente investigación se orienta a abordar este vacío mediante la evaluación comparativa de métodos de biocontrol en diferentes etapas fenológicas del cultivo (juvenil y adulta), considerando que las interacciones entre el cultivo y las arvenses, así como su susceptibilidad, varían a lo largo del ciclo de desarrollo. Asimismo, el estudio adquiere relevancia al desarrollarse bajo condiciones agroclimáticas propias del Ecuador, lo que permite generar evidencia con alta aplicabilidad en contextos productivos reales. De esta manera, se busca no solo evaluar la eficacia de estas formulaciones en la reducción de la densidad y cobertura de malezas, sino también aportar elementos que permitan clarificar el rol funcional de sus componentes en el control biológico.

Adicionalmente y a pesar del creciente interés en el uso de bioherbicidas derivados de subproductos agroindustriales, persisten limitaciones relevantes en su abordaje experimental y conceptual. En particular, existe una falta de diseños metodológicos que permitan aislar el efecto individual de los componentes activos, lo que dificulta la comprensión del mecanismo de acción y la identificación de posibles interacciones sinérgicas entre compuestos como el mucílago de cacao y el ácido acético. Asimismo, se evidencia una limitada estandarización en la evaluación de variables edáficas y microbiológicas asociadas al uso de estos bioinsumos, restringiendo la interpretación de sus efectos en la dinámica del suelo. A ello se suma la escasa integración de información experimental bajo condiciones tropicales reales, lo que limita la extrapolación

y aplicabilidad de los resultados en sistemas productivos como la palma africana. En este contexto, resulta necesario desarrollar estudios que combinen enfoques experimentales robustos con evaluaciones multivariadas, a fin de fortalecer el sustento científico del uso de biocontroladores como alternativa sostenible en la gestión de arvenses.

El objetivo de este trabajo fue evaluar dos métodos de control de arvenses mediante el uso de biocontrol en palma africana *E. guineensis* en dos etapas de desarrollo del cultivo. Se propuso investigar la eficacia de la concentración de mucílago de cacao y ácido piroleñoso en el control de arvenses de hojas anchas y angostas en un cultivo de palma africana. Para la identificación de las familias se utilizó el Manual de malezas presentes en cultivos de importancia económica del Ecuador de Agrocalidad, ubicado en el cantón Quevedo, provincia de Los Ríos, Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización de la investigación

La investigación se desarrolló en la hacienda Hermanos Chang Holguin, situada en el sector Recinto la Victoria, vía a Valencia km 4 ½, cantón Quevedo, provincia de Los Ríos, con coordenadas geográficas: 0° 99 '04.2" Latitud Sur 79° 44' 46.1" Longitud Oeste, a una altura de 72 ms.n.m. (Fig. 1).

Las condiciones agroclimáticas del área experimental estuvieron caracterizadas por una temperatura media anual de 24 °C ± 0,8, una humedad relativa promedio del 90%, una heliofanía acumulada de aproximadamente 900 horas de luz por año y una precipitación anual de 2.298 mm. Estas condiciones corresponden a un ecosistema tropical húmedo, con elevada disponibilidad hídrica y alta humedad atmosférica, factores que influyen significativamente en los procesos fisiológicos, microbiológicos y edáficos asociados al desarrollo de los cultivos. Adicionalmente, la topografía ligeramente regular del terreno favoreció la uniformidad de las condiciones experimentales y redujo la variabilidad asociada al escurrimiento superficial y la distribución espacial de la humedad en el suelo.

El ensayo experimental se desarrolló durante la estación seca, entre los meses de agosto y octubre de 2023, según la metodología de Vera Chang et al. (2025), en plantaciones de *E. guineensis* ubicada en el cantón Quevedo, provincia de Los Ríos, Ecuador.

Diseño experimental y tratamientos

Se empleó un diseño de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas. La parcela

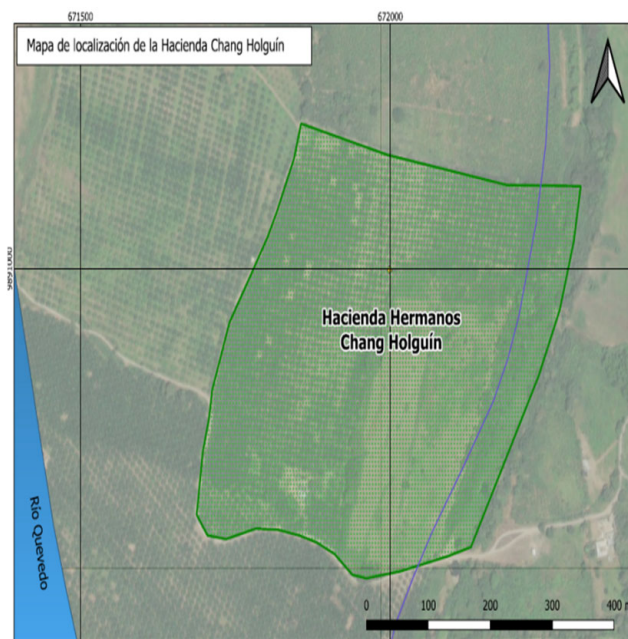


Fig. 1. Localización del estudio.

Fig. 1. Location of the study.

principal (factor A) correspondió a la edad del cultivo, con dos niveles: plantas juveniles y plantas adultas. Las subparcelas (factor B: parcela pequeña) correspondieron a los métodos de control de arvenses, con tres tratamientos: control manual, aplicación de ácido piroleñoso y aplicación de mucílago de cacao en combinación con vinagre (ácido acético).

Cada tratamiento se estableció con tres repeticiones, distribuidas aleatoriamente dentro de cada bloque. Se reconoce que el número de repeticiones ($n = 3$) constituye una limitación experimental inherente a las condiciones de campo, lo que puede restringir la potencia estadística y la capacidad de extrapolación de los resultados. No obstante, el uso de bloques permitió controlar la variabilidad espacial y optimizar la precisión del análisis, reduciendo el error experimental asociado a la heterogeneidad edáfica, como se ha documentado en sistemas agrícolas tropicales (Vera y Vera, 2026).

La combinación de los Factores A y B generó un total de seis tratamientos experimentales: T1 (j-mt), T2 (j-ap), T3 (j-mc), T4 (a-mt), T5 (a-ap) y T6 (a-mc), donde las letras j y a representan las edades de la plantación (juvenil y adulta, respectivamente), mientras que mt, ap y mc corresponden a: control manual, ácido piroleñoso y mezcla de mucílago de cacao con ácido piroleñoso, respectivamente (Tabla 1). El mucílago de cacao fue utilizado

como componente estructural de la formulación bioherbicida, aprovechando su contenido en polisacáridos y compuestos orgánicos que favorecen la adhesión y retención sobre la superficie foliar. La solución aplicada consistió en una mezcla de 65% de mucílago de cacao y 35% de vinagre (ácido acético), donde el mucílago actúa como matriz coadyuvante y el ácido acético como agente activo con efecto herbicida por contacto.

El mucílago de cacao fue obtenido a partir de mazorcas maduras del clon CCN-51 mediante escurrido, filtrado y almacenamiento en recipientes herméticos por un período máximo de 20 días. Para su aplicación, se preparó una solución compuesta por 65% de mucílago de cacao y 35% de vinagre que actuara como coadyuvante en todos los tratamientos con biocontroladores, con el objetivo de estandarizar el efecto acidificante y mejorar la adherencia foliar. Por tanto, no fue considerado como un factor experimental independiente.

El ácido piroleñoso obtenido de la pirólisis de biomasa de cascarilla de arroz (*Oriza sativa* L.) con propiedades herbicidas atribuibles a su contenido de ácidos orgánicos y compuestos fenólicos, fue aplicado en una solución al 33%, complementada con vinagre como coadyuvante, con el fin de mejorar la eficacia en el control de malezas.

Los tratamientos fueron aplicados mediante aspersión foliar dirigida utilizando una bomba

Tabla 1. Identificación y codificación asignadas a cada uno de los tratamientos.
Table 1. Identification and coding assigned to each of the treatments.

Nº	Código	Estado fenológico	Tratamiento aplicado
1	j-mt	Juvenil	Control manual (testigo)
2	j-ap	Juvenil	Ácido piroleñoso (33%) + vinagre
3	j-mc	Juvenil	Mucílago de cacao (65%) + vinagre
4	a-mt	Adulta	Control manual (testigo)
5	a-ap	Adulta	Ácido piroleñoso (33%) + vinagre
6	a-mc	Adulta	Mucílago de cacao (65%) + vinagre

tipo CP3, sobre las arvenses presentes en un radio de 2,5 a 3 m alrededor del estípite de cada palma, evitando el contacto directo con el cultivo.

Material genético

Se utilizaron plantas de palma africana variedad Deli*Ghana, una variedad de crecimiento vertical moderado que produce racimos grandes originaria de Costa Rica, plantación ya establecida para plantas adultas de 8 años y plantas juveniles de 4 años; con un distanciamiento entre plantas de 9 x 9 m² dando un total de 123 plantas ha⁻¹.

Con el propósito de realizar una evaluación multidimensional de la eficacia de los métodos de control de arvenses, se analizaron variables agronómicas, ecológicas y microbiológicas. Las variables agronómicas incluyeron la cobertura inicial de arvenses, la cobertura final de arvenses y la eficacia del control, determinada mediante la fitotoxicidad, considerando la edad de la plantación como factor principal y el tipo de control como factor secundario.

Complementariamente, las variables ecológicas fueron incorporadas para determinar el efecto de los tratamientos sobre la composición, estructura y diversidad de la comunidad de arvenses, proporcionando información sobre la estabilidad y respuesta del agroecosistema frente a las estrategias de manejo. Asimismo, las variables microbiológicas permitieron evaluar los cambios en la actividad biológica del suelo y en la dinámica de las comunidades microbianas, consideradas indicadores sensibles de la calidad y funcionamiento edáfico.

Eficacia en el biocontrol de malezas

Se cuantificó por especie cada 8, 15 y 20 días posteriores a la aplicación en cada uno de los cuadrados ubicados en las parcelas, y se contrastó con los individuos encontrados en el grupo de control de cada bloque. Se realizaron observaciones del cultivo antes y después de la aplicación, siguiendo la metodología propuesta

por ALAM (1974), para cuantificar el nivel de daño al cultivo.

Fitotoxicidad en post-emergencia de malezas

Para determinar el porcentaje de control de arvenses se empleó la escala de ALAM (1974), la cual evalúa la fitotoxicidad y los cambios fisiológicos y morfológicos que ocurren en la planta como respuesta a la aplicación de herbicidas. Los rangos de esta escala fueron adaptados de forma cuantitativa con el fin de facilitar el análisis estadístico de los datos obtenidos durante el experimento. Esta metodología ha sido ampliamente utilizada en estudios de eficacia y selectividad de herbicidas, permitiendo una evaluación estandarizada del control de malezas (Téllez et al., 2021).

pH de suelo

El pH del suelo fue determinado mediante el método potenciométrico, utilizando una relación suelo: agua de 1: 2,5 y un potenciómetro previamente calibrado con soluciones buffer estándar de pH 4 y 7. La variable se evaluó en el área experimental establecida con plantas juveniles y adultas de palma africana, con el propósito de monitorear posibles variaciones asociadas a la aplicación de los tratamientos, según metodología propuesta por Vera et al. (2025) y Vera Chang et al. (2025).

En cada evaluación se efectuaron tres replicaciones por unidad experimental, con el fin de garantizar la representatividad y confiabilidad de los datos obtenidos. En cada unidad experimental se efectuaron lecturas en la zona de influencia de las plantas de palma africana, introduciendo el electrodo en el suelo a una profundidad aproximada de 10 cm, procurando mantener condiciones homogéneas de humedad durante la evaluación. En cada fecha de evaluación se efectuaron tres lecturas por unidad experimental, y posteriormente se calculó el valor promedio para el análisis estadístico correspondiente, según lo propuesto por (Tobar et al., 2023).

Cuantificación microbiológica

Se realizó mediante el método de unidades formadoras de colonias (UFC), utilizando diluciones seriadas en solución salina estéril (10^{-1} a 10^{-6}). Las muestras fueron sembradas en placas con medios específicos (agar nutritivo para bacterias y agar papa dextrosa para levaduras) mediante la técnica de siembra por extensión. Las placas fueron incubadas a 28 ± 2 °C durante 24–48 horas, para bacterias y 48–72 horas, para levaduras. Los resultados se expresaron como UFC·mL⁻¹.

Codificación

Los tratamientos experimentales fueron codificados mediante un sistema alfanumérico que combina el estado fenológico del cultivo y el método de control aplicado. El primer componente corresponde al estado de la planta (J: juvenil; A: adulta), mientras que el segundo identifica el tratamiento (mt: control manual; ap: ácido piroleñoso; mc: mucílago de cacao). Para efectos de análisis estadístico y representación gráfica, estos tratamientos fueron adicionalmente enumerados como T1–T6, manteniendo correspondencia directa con la codificación original (Tabla 2).

Adicionalmente, es importante señalar que la ausencia de un diseño factorial que permita evaluar de manera independiente el efecto de los componentes de las formulaciones (mucílago de cacao y ácido acético) representa una limitación en la interpretación mecanística de los resultados. En este sentido, el enfoque adoptado se orienta a la validación tecnológica en condiciones de campo, priorizando la aplicabilidad práctica sobre la descomposición analítica de los factores. Sin embargo, esta decisión metodológica evidencia la necesidad de futuras investigaciones

que incorporen diseños experimentales más detallados, capaces de establecer relaciones causa–efecto y optimizar las formulaciones bioherbidas en función de su eficacia y comportamiento en el suelo.

Análisis estadístico

Las variables agronómicas cuantitativas correspondientes al porcentaje de control de arvenses a los 8, 15 y 20 días después de la aplicación (DDA), cobertura inicial y cobertura final de arvenses, eficiencia de control (fitotoxicidad) y altura de las arvenses fueron sometidas a un análisis de varianza (ANDEVA), de acuerdo con un diseño de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas, considerando como factor de la parcela principal la edad del cultivo (plantas juveniles y adultas) y como factor de la subparcela los métodos de control de arvenses (control manual, ácido piroleñoso y mucílago de cacao + vinagre). Cuando el análisis de varianza evidenció diferencias significativas entre tratamientos, las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidad ($P \leq 0,05$).

Las variables ecológicas correspondientes a la composición e identificación taxonómica de las arvenses fueron analizadas mediante estadística descriptiva, empleando frecuencias relativas para caracterizar la comunidad vegetal presente en el área experimental. De igual manera, las variables microbiológicas (unidades formadoras de colonias de bacterias y levaduras) y el potencial de hidrógeno (pH) del suelo fueron evaluadas mediante estadística descriptiva y representadas gráficamente con el propósito de describir la respuesta biológica y edáfica asociada a los tratamientos. En todos los análisis estadísticos se adoptó un nivel de significancia $P \leq 0,05$.

Tabla 2. Población de arvenses identificadas en el área de investigación.
Table 2. Population of weeds identified in the study rea.

Nombre común	Nombre científico	Familia	Frecuencia relativa (%)
Yerba de estrella	<i>Drymaria cordata</i> L. Willd	Carophyllaceae	40,00
Golondrina	<i>Euphorbia prostrata</i>	Euphorbiaceae	52,30
Verbena cimarrona	<i>Bouchea prismatica</i>	Verbenaceae	44,20
Gambutera	<i>Brachiaria extensa</i> Chase	Poaceae	85,00
Guardarócío	<i>Digitaria sanguinalis</i>	Poaceae.	43,50
Paja de burro	<i>Eleusine indica</i>	Poaceae	82,00
Pasto guinea	<i>Panicum maximum</i> Jacq.	Poaceae	78,00
Caminadora	<i>Rottboellia cochinchinensis</i>	Poaceae	80,00
Pasto horqueta	<i>Paspalum conjugatum</i> Berg	Poaceae	89,00
Ilusión	<i>Panicum cf. antidotale</i> Retz	Poaceae	85,00

RESULTADOS

Identificación taxonómica de las arvenses presentes en el cultivo

En el área de estudio, se identificó una diversidad significativa de familias y especies de malezas, abarcando tanto las de hoja ancha como las de hoja angosta. Estos resultados se detallan en la Tabla 2. Se destaca que la familia Poaceae fue la más prevalente en la plantación de cultivo de palma, ocupando un porcentaje alto.

Acerca de la población total de las arvenses bajo ensayo se registraron 19 especies pertenecientes a 10 familias, con 70% de malezas de hojas anchas y un 30% malezas de hojas angostas. A continuación, se detallan las malezas presentes *in situ* (Tabla 2).

Evaluación visual del control en la cobertura de arvenses

En la Tabla 3 se presentan los resultados del control en la cobertura de arvenses a los 8 días después de la aplicación, donde no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ($P>0,05$). Sin embargo, en el tratamiento T6 (a-mc), se observa una tendencia a un mayor promedio de control de arvenses, respecto al resto de tratamiento.

A los 15 DDA se evidenció un efecto diferencial entre las formulaciones, donde el tratamiento T6 (a-mc: 65% de mucílago y 33% de vinagre) y el T5 (a-ap) alcanzaron los mayores porcentajes de eficacia (84,00% y 55,67%, respectivamente), diferenciándose significativamente ($P\leq0,05$) de los tratamientos T1 (j-mt) y T2 (j-ap).

Finalmente, a los 20 DDA, el tratamiento T6 (a-mc) mantuvo la mayor eficacia en el control

en la cobertura de arvenses, promedio (72,67%), mostrando una superioridad estadística clara, en comparación con el control manual T1 (j-mt), el cual registró la menor eficacia.

La diferenciación estadística observada a los 15 y 20 DDA (Tabla 4), permite discriminar la respuesta biótica de las arvenses ante las distintas composiciones evaluadas. Específicamente, los resultados estadísticos para estos periodos demuestran la superioridad del tratamiento T6 (a-mc) sobre el manejo mecánico tradicional (T1 (j-mt)). Esta separación de rangos estadísticos evidencia que la combinación de mucílago de cacao y vinagre despliega una acción fitotóxica superior al control manual, superando las limitaciones biológicas de la remoción física mecánica en condiciones de plantación joven. Asimismo, los coeficientes de variación obtenidos a los 15 y 20 días (22,63% – 25,76%) se consideran aceptables y metodológicamente válidos para ensayos biológicos desarrollados bajo condiciones de campo, donde la variabilidad espacial está influenciada por factores edáficos, microclimáticos y florísticos propios de los ecosistemas tropicales (Vera Chang et al., 2025; Valverde et al., 2025).

Cobertura de arvenses

La cobertura inicial de las arvenses no exhibió diferencias significativas ($P>0,05$) al contrastar los bloques correspondientes a los estados fenológicos (juvenil vs. adulto) ni entre las parcelas asignadas a las diferentes unidades experimentales.

El coeficiente de variación general se situó en un 12,10%, lo que denota una adecuada dispersión y control del error experimental en campo. De

Tabla 3. Promedio de porcentaje de control de arvenses a los 8, 15 y 20 días después de la aplicación con mucílago de cacao, ácido piroleñoso y control manual.

Table 3. Average percentage of weed control efficacy at 8, 15, and 20 days after application of cocoa mucilage, pyroligneous acid, and manual control.

Tratamientos	Control (0-100%) escala ALAM		
	8 días	15 días	20 días
T1 (j-mt)	35,33 a	27,67 a	22,33 a
T2 (j-ap)	77,67 a	62,33 a	51,33 ab
T3 (j-mc)	80,00 a	81,33 ab	68,00 ab
T4 (a-mt)	37,67 a	28,67 ab	27,00 ab
T5 (a-ap)	78,67 a	55,67 b	55,67 ab
T6 (a-mc)	89,00 a	84,00 b	72,67 b
CV (%)	23,68	22,63	25,76

Letras diferentes son estadísticamente significativas, según la prueba de Tukey ($P\leq0,05$).

Tabla 4. Cobertura inicial de arvenses (%) antes de la aplicación de tratamientos.
Table 4. Initial weed coverage (%) before treatment application.

Tratamientos	Descripción	Cobertura inicial (%)	Clasificación (ALAM)
T1 (j-mt)	Juvenil – Control manual	86,00 a	Totalmente cubierto
T2 (j-ap)	Juvenil – Ácido piroleñoso + vinagre	84,33 a	Totalmente cubierto
T3 (j-mc)	Juvenil – Mucílago cacao + vinagre	83,67 a	Totalmente cubierto
T4 (a-mt)	Adultas – Control manual	85,33 a	Totalmente cubierto
T5 (a-ap)	Adultas – Ácido piroleñoso + vinagre	87,00 a	Totalmente cubierto
T6 (a-mc)	Adultas – Mucílago cacao + vinagre	83,67 a	Totalmente cubierto
Promedio		85,00	Totalmente cubierto
CV (%)		12,10	

Letras diferentes son significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

acuerdo con los criterios estandarizados de la escala ALAM, el 100% de las parcelas evaluadas se clasificó bajo la categoría de “Totalmente cubierto”, registrando un valor medio general del 85,00% con fluctuaciones marginales no significativas que oscilaron estrictamente entre el 83,67% (T3 y T6) y el 87,00% (T5).

La ausencia de diferencias significativas en la cobertura inicial de arvenses ($P > 0,05$) confirma la homogeneidad de las unidades experimentales antes de la aplicación de los tratamientos, indicando que todas estuvieron sometidas a una presión de infestación comparable. De acuerdo con la clasificación de la Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM), todas las unidades experimentales fueron categorizadas como “**Totalmente cubierto**”, lo que evidencia un elevado nivel de cobertura de arvenses, atribuible al historial de manejo del lote y a las condiciones agroecológicas del sitio experimental. Esta condición inicial homogénea constituye un requisito fundamental para la validez del diseño experimental, ya que asegura la comparabilidad entre tratamientos y proporciona una base confiable para la evaluación de las respuestas observadas tras la aplicación de las formulaciones.

Cobertura final de arvenses (%) después de la aplicación

La Tabla 5 presenta los resultados de la cobertura final de arvenses tras la aplicación de los tratamientos evaluados, expresados en porcentaje y clasificados según la escala de ALAM. Esta variable permite valorar la eficacia de los métodos de control aplicados en términos de reducción de la infestación de malezas, facilitando la comparación entre tratamientos y su impacto en el sistema productivo.

La mayor cobertura final de arvenses fue compartida estadísticamente por los tratamientos

T1, T2, T4 y T5 ($P > 0,05$), los cuales se agruparon en los rangos de menor control biológico. En contraste, las formulaciones a base de mucílago de cacao y vinagre, correspondientes a los tratamientos T3 (j-mc) y T6 (a-mc), arrojaron la menor cobertura final, siendo ambos equivalentes entre sí desde la perspectiva de la significancia estadística. Además, la cobertura final arrojada por el T6 superó también de forma significativa a los controles manuales y al tratamiento T5.

Finalmente, las parcelas tratadas con ácido piroleñoso + vinagre en estado juvenil (T2) presentaron una respuesta intermedia con 54,33% de cobertura, solapándose estadísticamente tanto con los grupos de baja eficacia como con las formulaciones de mucílago de cacao. El coeficiente de variación general del ensayo se situó en un 15,32%, cifra que confirma una adecuada homogeneidad y confiabilidad en los datos recolectados en esta fase final,

Respecto a la clasificación cualitativa de la escala ALAM, los tratamientos de control manual T1 y T4, junto con el tratamiento con ácido piroleñoso en plantas adultas T5, registraron una condición de suelos “Altamente cubierto”. Por su parte, el tratamiento T2 exhibió un suelo “Medianamente cubierto”, mientras que los tratamientos con mucílago de cacao indujeron las mayores reducciones de la infestación, categorizando al T3 como suelo “Poco cubierto” y al T6 en un estado de suelo “Desnudo”. Finalmente, el promedio consolidado entre las seis evaluaciones experimentales generó una clasificación general de suelo “Medianamente cubierto” (51,61%).

Reducción de cobertura de arvenses

La Fig. 2 muestra una diferenciación clara en la reducción porcentual de la cobertura de arvenses entre tratamientos, evidenciando un

Tabla 5. Cobertura final de arvenses (%) después de la aplicación de tratamientos.
Table 5. Final weed coverage (%) after treatment application.

Tratamientos	Cobertura final (%)	Clasificación (ALAM)
T1 (j-mt)	69,00 a	Altamente cubierto
T2 (j-ap)	54,33 ab	Medianamente cubierto
T3 (j-mc)	26,00 bc	Poco cubierto
T4 (a-mt)	65,33 a	Altamente cubierto
T5 (a-ap)	75,67 a	Altamente cubierto
T6 (a-mc)	19,33 c	Desnudo
Promedio	51,61	Medianamente cubierto
CV (%)	15,32	

Letras diferentes son significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

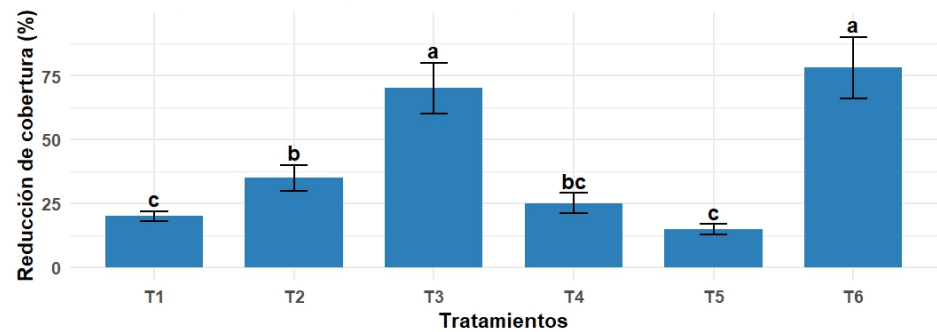


Fig. 2. Reducción de coberturas en arvenses.
Fig. 2. Reduction in weed coverage.

patrón de respuesta donde los biocontroladores presentan mayor eficacia frente a alternativas convencionales. En términos cuantitativos, los tratamientos T6 (a-mc) (76,89%) y T3 (j-mc) (68,93%), a pesar de que arrojan igualdad estadística en la cobertura arvense, registran las mayores reducciones, destacándose como los más eficientes y ambos tratamientos resultan significativamente diferentes respecto al resto de tratamientos, sugiriendo un efecto superior asociado al uso de mucílago de cacao como agente biológico. En contraste, los tratamientos T2 (j-ap) y T4 (a-mt) presentan una reducción de cobertura intermedia, mientras que T1 (j-mt) y T5 (a-ap) evidencian una limitada capacidad de control, lo que permite establecer un gradiente de eficacia donde los tratamientos biológicos superan claramente al control manual y a otras formulaciones. Las barras de error, basadas en un coeficiente de variación de 15,32%, indican una variabilidad moderada, propia de condiciones de campo; sin embargo, la consistencia en la separación de medias sugiere que las diferencias

observadas responden a efectos reales de los tratamientos.

En conjunto, los resultados confirman la robustez y el potencial de los biocontroladores evaluados como alternativas sostenibles para el manejo de arvenses en condiciones reales de producción.

En conjunto, la Fig. 2 evidencia que los bioherbicidas evaluados presentan un comportamiento diferencial, destacándose aquellos basados en mayores concentraciones o combinaciones más efectivas como alternativas prometedoras para el manejo sostenible de malezas en palma africana.

Eficiencia de control (fitotoxicidad) de las arvenses (%)

En la Tabla 6 se presenta la eficiencia de control de arvenses en función de la edad de la plantación (Factor A) y del método de control aplicado (Factor B). Para el Factor A no se detectaron diferencias significativas ($P > 0,05$) entre plantaciones juveniles y adultas, con valores promedio de eficiencia de

Tabla 6. Eficiencia del control (%) de arvenses a los distintos tratamientos con la aplicación del mucílago de cacao, ácido piroleñoso y control manual.
Table 6. Weed control efficacy (%) under the different treatments involving the application of cocoa mucilage, pyroligneous acid, and manual control.

Factores		Eficiencia del control (%)
Factor A (Edad)		
Juveniles		60,89 a
Adultas		59,56 a
Factor B (Control)		
Manual (testigo)		42,67 b
Acido piroleñoso		50,50 b
Mucílago cacao		87,50 a
Tratamientos		
T1 (j-mt)	Plantas Juvenil (control manual-testigo)	41,33 b
T2 (j-ap)	Plantas Juvenil (control ácido piroleñoso 33%)	54,33 ab
T3 (j-mc)	Plantas Juvenil (control mucílago cacao 65%)	87,00 a
T4 (a-mt)	Plantas Adultas (control manual-testigo)	44,00 b
T5 (a-ap)	Plantas Adultas (control ácido piroleñoso 33%)	46,67 ab
T6 (a-mc)	Plantas Adultas (control mucílago cacao 65%)	88,00 a
CV (%)		17,91

Letras diferentes son significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

control de 60,89 y 59,56%, respectivamente. Estos resultados indican que la edad de la plantación no influyó significativamente en la respuesta de las arvenses a los tratamientos evaluados bajo las condiciones experimentales del estudio.

Por el contrario, el Factor B presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre los métodos de control evaluados. El tratamiento basado en mucílago de cacao registró la mayor eficiencia de control, superando estadísticamente al ácido piroleñoso y al control manual, los cuales no difirieron entre sí. A nivel de tratamientos, T3 (plantas juveniles + mucílago de cacao al 65%) y T6 (plantas adultas + mucílago de cacao al 65%) alcanzaron las mayores eficiencias de control, mientras que T1 (control manual en plantas juveniles) y T4, presentaron los menores valores (41,33% y 44,00%, respectivamente). Estos resultados evidencian que la aplicación de mucílago de cacao fue el método más eficaz para el control de arvenses, independientemente de la edad de la plantación.

Altura de arvenses

En la Tabla 7, la altura de las arvenses a los 20 días después de la aplicación presentó diferencias significativas tanto para la edad de la plantación Factor A (Edad) como para los métodos de control evaluados (Factor B: Control). En el Factor A, las plantaciones adultas registraron una mayor y significativa altura promedio de malezas (21,11

cm) que las plantaciones juveniles (17,33 cm). En el Factor B, el tratamiento con mucílago de cacao presentó la menor altura de arvenses, diferenciándose estadísticamente del control manual y del ácido piroleñoso. Estos resultados indican una mayor capacidad del mucílago de cacao para limitar el crecimiento de las arvenses durante el período de evaluación.

Al analizar los tratamientos de forma individual, T5 (plantas adultas + ácido piroleñoso al 33%) registró la mayor altura de arvenses (29,33 cm), superando estadísticamente a T3 (11,33 cm), T4 (19,33 cm) y T6 (14,67 cm). Por el contrario, T3 (plantas juveniles + mucílago de cacao al 65%) y T4 (a-mt) presentaron la menor altura de malezas. La reducción observada en los tratamientos con mucílago de cacao coincide con los mayores porcentajes de eficiencia de control registrados en la Tabla 7, lo que sugiere una relación directa entre la capacidad de supresión de las arvenses y la disminución de su crecimiento vegetativo. En contraste, el ácido piroleñoso mostró una menor capacidad para restringir el desarrollo de las malezas, especialmente en plantaciones adultas, donde se registraron las mayores alturas promedio.

Potencial de hidrógeno (pH) en suelo del área experimental

En la Fig. 3, se presentan mediciones de pH en

Tabla 7. Promedio de altura de la arvenses a los 20 días después de cada aplicación en plantas juveniles y adultas en el cultivo de palma africana.

Table 7. Average weed height at 20 days after each application in juvenile and adult plants in African oil palm.

Factores		Altura de maleza (cm)
Factor A (Edad)		
Juveniles		17,33 a
Adultas		21,11 b
Factor B (Control)		
Manual (testigo)		19,67 a
Ácido piroleñoso		25,00 b
Mucílago cacao		13,00 c
Tratamientos		
T1 (j-mt)	Plantas Juvenil (control manual-testigo)	20,00 ab
T2 (j-ap)	Plantas Juvenil (control ácido piroleñoso 33%)	20,67 ab
T3 (j-mc)	Plantas Juvenil (control mucílago cacao 65%)	11,33 b
T4 (a-mt)	Plantas Adultas (control manual-testigo)	19,33 b
T5 (a-ap)	Plantas Adultas (control ácido piroleñoso 33%)	29,33 a
T6 (a-mc)	Plantas Adultas (control mucílago cacao 65%)	14,67 b
CV (%)		12,89

Letras diferentes son significativas según la prueba de Tukey ($P\leq0,05$).

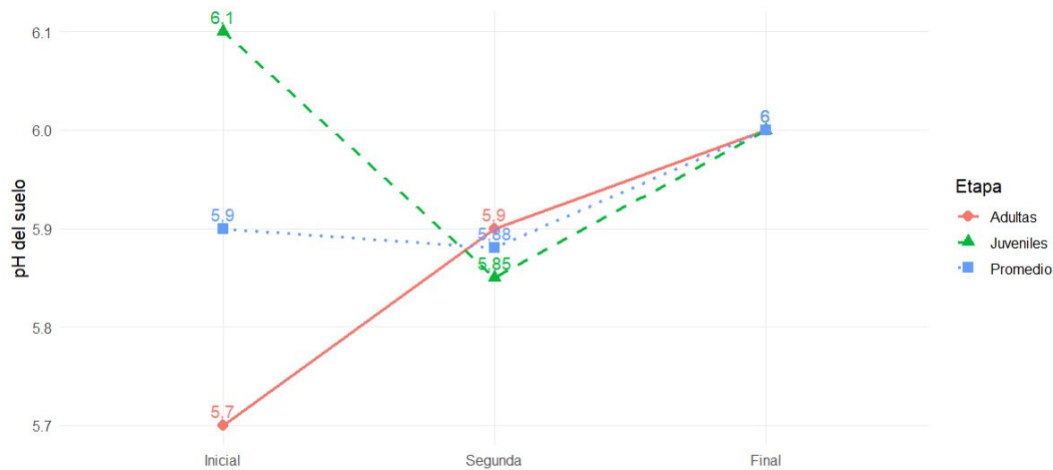


Fig. 3. pH del suelo en los dos estadios de la palma africana.

Fig. 3. Soil pH at the two growth stages of African oil palm.

las dos etapas de crecimiento del cultivo de palma africana (adulta y juvenil).

La información sobre el pH inicial, los cambios después de la segunda aplicación y el pH final no presentaron cambios drásticos del pH del suelo; lo cual proporciona una visión de cómo la aplicación de ciertos tratamientos puede afectar el pH del suelo en las diferentes etapas de crecimiento del cultivo de palma africana.

Unidad formadora de colonias (UFC)

En la Fig. 4, se observa que el crecimiento de bacterias y levaduras respondió de manera diferencial a los tratamientos evaluados. El mucílago de cacao fermentado durante 24 horas presentó la mayor concentración de colonias bacterianas y de levaduras en comparación con los demás tratamientos. Posteriormente, a los 20 días de fermentación, se evidenció una disminución

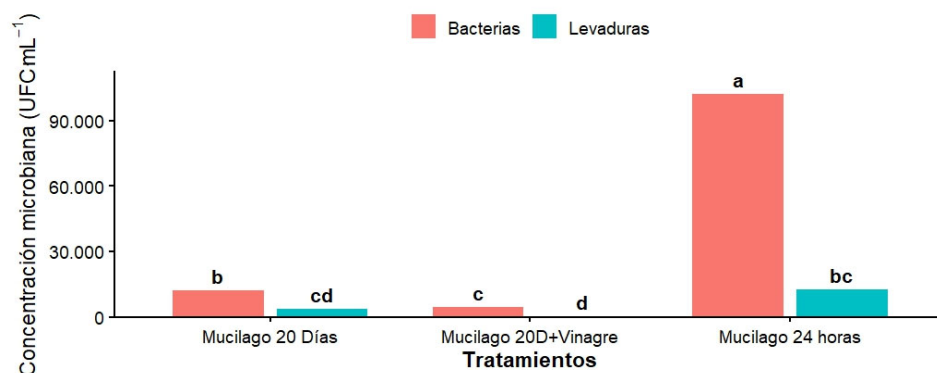


Fig. 4. Comparación de resultados entre muestras de mucílago de 24 horas y 20 días de fermentación mediante la cuantificación de colonias de levaduras y bacterias.

Fig. 4. Comparison of results between mucilage samples fermented for 24 hours and 20 days, based on the quantification of yeast and bacterial colonies.

en la concentración de colonias, observándose un predominio de bacterias durante todo el período de evaluación.

En la Fig. 5, muestra el comportamiento de las unidades formadoras de colonias (UFC) de bacterias en muestras de suelo al inicio y al final del período experimental. Se observó un incremento en el número de UFC al finalizar el ensayo tanto en plantaciones juveniles como adultas, evidenciando una mayor abundancia bacteriana bajo las condiciones evaluadas. Debido a que esta variable fue analizada mediante estadística descriptiva, los resultados se presentan con fines comparativos y de interpretación biológica.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio deben interpretarse considerando las limitaciones metodológicas inherentes al diseño experimental, las cuales condicionan el alcance de las inferencias. En particular, la evaluación de formulaciones bioherbicidas completas no permitió discriminar la contribución específica del mucílago de cacao y del ácido acético sobre la eficacia del control de arvenses. En consecuencia, el efecto observado corresponde a la acción integrada de la formulación y no puede atribuirse de manera independiente a alguno de sus componentes. Esta limitación coincide con la mayoría de las investigaciones desarrolladas bajo condiciones de campo, donde el objetivo principal es validar el desempeño agronómico de los bioinsumos, mientras que la identificación de los mecanismos de acción y de la contribución

individual de sus componentes requiere ensayos analíticos específicos bajo condiciones controladas. Por tanto, los resultados obtenidos deben interpretarse como la respuesta de un sistema en el que interactúan simultáneamente factores químicos, fisiológicos y ambientales.

En relación con la composición de la comunidad de arvenses, los resultados evidenciaron un claro predominio de especies de hoja ancha, las cuales representaron el 67,90% de la población total registrada durante el estudio. Entre las especies más frecuentes se identificaron lechosa (*Euphorbia heterophylla* L.), bleo (*Amaranthus viridis* L.), malva (*Urena lobata* L.) y tostón (*Boerhavia erecta* L.). Este patrón coincide con lo informado por Samedani et al. (2014) en plantaciones de palma aceitera y con los resultados de Batista et al. (2023), quienes documentaron una alta predominancia de arvenses de hoja ancha en sistemas agrícolas tropicales, lo que sugiere que este grupo constituye el principal objetivo de las estrategias de manejo evaluadas.

Se evidencia que en los tratamientos basados en la combinación de mucílago de cacao y vinagre su efecto no puede atribuirse exclusivamente al mucílago, sino a una acción combinada donde el vinagre, debido a que su contenido de ácido acético desempeña un papel determinante como agente fitotóxico de contacto, provocando deshidratación y necrosis en los tejidos vegetales. Por su parte, el mucílago de cacao, rico en compuestos como flavonoides, taninos y otros metabolitos secundarios, podría actuar como coadyuvante, potenciando la adherencia y persistencia de la mezcla sobre la superficie foliar. En este sentido, la eficacia observada

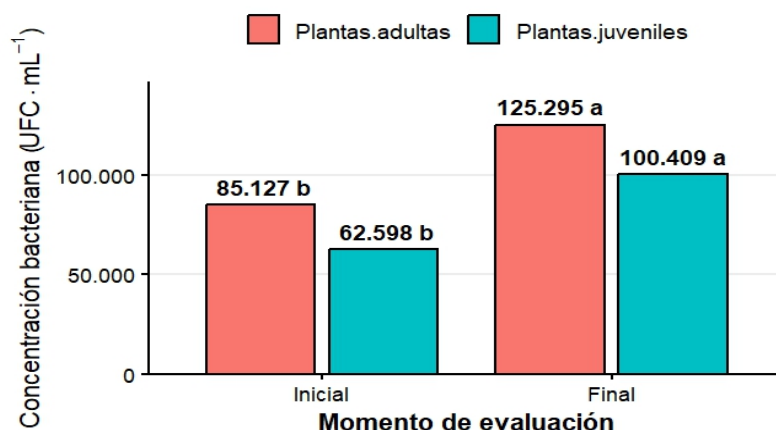


Fig. 5. Comparación de resultados entre muestras de suelo al inicio y final de la investigación mediante la cuantificación de colonias de bacterias.

Fig. 5. Comparison of results between soil samples collected at the beginning and end of the study, based on the quantification of bacterial colonies.

responde a un efecto sinérgico entre ambos componentes, más que a la acción individual de uno solo (Calle et al., 2018). Sánchez et al. (2019), asocian el potencial fitotóxico del mucílago como un herbicida natural a la presencia de taninos, alcaloides, flavonoides y esteroides, por lo que estos componentes, contribuyen al aumento del porcentaje de afectación de las arvenses. Montero (2014) indica que el ácido acético puede ser utilizado en la producción de cultivos orgánicos como herbicida de contacto, cuya acción sobre las plantas es similar al paraquat.

La eficacia herbicida observada se atribuye principalmente al ácido acético presente en el vinagre, cuyo mecanismo de acción como herbicida de contacto provoca desecación y necrosis de los tejidos vegetales, especialmente en arvenses jóvenes (Webber et al., 2005). No obstante, el mucílago de cacao podría desempeñar un papel complementario como coadyuvante natural, favoreciendo la adhesión, retención y distribución de la solución sobre la superficie foliar, lo que potencialmente incrementa la eficacia del ácido acético (Li et al., 2010; Vera et al., 2025). Además, la presencia de metabolitos secundarios como compuestos fenólicos y flavonoides podría contribuir de forma indirecta al estrés fisiológico de las plantas tratadas.

Estos resultados concuerdan con estudios que atribuyen la eficacia de los bioherbicidas elaborados a partir de subproductos agroindustriales a la acción de compuestos fenólicos, ácidos orgánicos y metabolitos secundarios con efecto alelopático sobre las arvenses (Hael et al., 2017; Carrasco, 2023). La variabilidad observada fue la esperada

para condiciones de campo y no modificó la tendencia de mayor eficacia de los tratamientos evaluados (Alemán, 2004). En consecuencia, los resultados sugieren que la eficacia observada se atribuye principalmente a la acción fitotóxica del ácido acético, reconocido por su capacidad para provocar desecación celular y necrosis rápida en los tejidos vegetales susceptibles. El mucílago de cacao, por su parte, podría haber contribuido de manera complementaria mediante sus propiedades fisicoquímicas y la presencia de compuestos fenólicos bioactivos, favoreciendo la permanencia de la solución sobre la superficie vegetal o intensificando el estrés fisiológico de las arvenses. Esta interpretación coincide con estudios que reportan que los compuestos fenólicos y flavonoides pueden ejercer efectos alelopáticos y fitotóxicos sobre otras especies vegetales (Li et al., 2010). El efecto herbicida observado puede atribuirse a la acción del ácido acético, el cual induce desnaturalización de proteínas y deshidratación celular, generando necrosis en tejidos vegetales (Webber et al., 2005).

Además, en cuanto al efecto del ácido acético, Alvarado et al. (2016) contaminación del suelo y malezas con factores de resistencia. Ante esta situación las medidas alternativas para controlar malezas son muy necesarias. Se ha demostrado que el ácido acético del vinagre puede funcionar como un herbicida natural, ya que tiene un modo de acción desecante de los tejidos vegetales, a modo de herbicidas convencionales como el paraquat. \n Puede controlar varias malezas de hoja ancha, gramíneas y ciperáceas con eficacia de más de 85%, siempre que sea aplicado en

etapas tempranas de desarrollo fenológico. Posee la ventaja de no ser un producto residual y por lo tanto no contaminante y funciona bien en dosificaciones de 20% en 600 L ha⁻¹. Pero su uso presenta el inconveniente de ser más efectivo en controlar malezas de hoja ancha, por lo que una utilización prolongada conllevaría a alterar la población de malezas predominantes en gramíneas y ciperáceas. Por lo tanto, la funcionalidad en la utilización del vinagre como herbicida depende de que sea integrado como complemento en un manejo integrado de malezas, en combinación armónica con herbicidas convencionales, reduciendo así el impacto de éstos, y con coberturas vegetales, propendiendo a la conservación de la biodiversidad y el equilibrio natural.”, “container-title”: “Revista Caribeña de Ciencias Sociales (ISSN: 2254-7630 señalan que este produce una disminución del pH en los ácidos grasos insaturados presentes en las paredes celulares de las plantas, lo que conduce a su oxidación al entrar en contacto con el oxígeno del aire. Este proceso, catalizado por la luz, provoca la formación de hidróxidos que exponen las células epidérmicas de las arvenses al vinagre. Esta acción es biodegradable y no deja residuos persistentes en el suelo, a diferencia de los ingredientes activos presentes en los herbicidas convencionales. En experiencias con el vinagre como herbicida natural se ha demostrado su eficiencia para producir la desecación de estas especies de maleza en sistemas de siembra directa, su utilización no alteró el pH en el suelo ni causó impacto negativo sobre la biomasa y actividad microbiana (Montero et al., 2016; Vera et al., 2025):

Los resultados a los 8, 15 y 20 días después de la aplicación del mucílago de cacao, usado en presencia de un agente acidificante (ácido acético), mostró mayor eficacia. En cuanto a la eficacia en el modo de acción, la desecación de las malezas empieza a notarse a las 24 horas (80,40%), aumentando a las 48 y 72 horas después de la aplicación, hasta un máximo de 85,20% de desecación en la mayoría de las especies de malezas expuestas al ácido acético del vinagre (Montero et al., 2016).

Se identificó una diferencia estadísticamente significativa en la altura de las arvenses entre las plantas juveniles y adultas de palma africana, indicando que la etapa de crecimiento influye en este aspecto. Esta variación es relevante para comprender cómo la fase de desarrollo de las plantas puede afectar su competencia con las arvenses y, por ende, la eficacia de los métodos de control. Los resultados muestran diferencias significativas entre los tipos de control de malezas evaluados: manual (testigo), ácido piroleñoso y

mucílago de cacao + vinagre en plantas juveniles. Esto sugiere que este método podría reducir el estrés competitivo en las plantas, potencialmente incrementando la producción. Es crucial resaltar que entre las características más relevantes a considerar en las arvenses se encuentra su altura, la cual, junto con su plasticidad, resiliencia y capacidad de rebrote, contribuye a su habilidad para competir por los recursos disponibles (Blanco, 2016).

Las arvenses pueden adaptarse a los cortes realizados con machetes o guadañas, debido a su capacidad de rebrote. Algunas especies tienen un rápido crecimiento inicial, pero la absorción de nutrientes y las tasas fotosintéticas disminuyen con la edad de las raíces y hojas, estimulando la producción de nuevos tejidos tras el corte (Mahmudul et al., 2021).

Finalmente, según lo señalado por Carrasco y Guerrero (2022), la utilización de biocontroles ofrece beneficios significativos, ya que permiten el control de las arvenses con un nivel de toxicidad reducido, lo que conlleva a una disminución en la contaminación ambiental. Esto se logra mediante el empleo de residuos o materias primas que contienen moléculas efectivas, como es el caso del mucílago de cacao.

El incremento observado sugiere que las condiciones edáficas favorecieron el establecimiento y la actividad de las comunidades microbianas, probablemente como resultado de una mayor disponibilidad de sustratos orgánicos, condiciones adecuadas de humedad y una mayor actividad rizosférica, factores que regulan la dinámica y funcionalidad de la microbiota del suelo. Este comportamiento coincide con lo reportado por Peña (2021), quien indica que la estructura y actividad de las comunidades microbianas responden de manera significativa a las variaciones en la disponibilidad de recursos y a las condiciones ambientales, promoviendo un incremento en la biomasa microbiana y en la actividad bacteriana cuando se favorece la acumulación y transformación de materia orgánica en el suelo.

Los resultados destacan que los tratamientos con mucílago de cacao en presencia de ácido acético presentan mayor eficacia en el control de arvenses. Este efecto se explica por la acción herbicida de contacto del ácido acético, complementada por el posible efecto coadyuvante del mucílago, que favorece la adhesión y permanencia sobre la superficie foliar.

Por otra parte, la interpretación de los resultados se ve limitada por la disponibilidad aún incipiente de literatura científica específica sobre el uso de bioherbicidas derivados de subproductos agroindustriales en sistemas

tropicales. Si bien existen estudios que abordan el uso del ácido acético como herbicida de contacto y el potencial de compuestos fenólicos en procesos alelopáticos, la evidencia disponible sobre su interacción con matrices orgánicas como el mucílago de cacao es aún reducida. Este escenario evidencia la necesidad de ampliar las investigaciones en este campo, particularmente aquellas que integren análisis mecanísticos, evaluaciones microbiológicas y estudios en condiciones reales de producción, con el fin de consolidar un marco teórico robusto que respalde el uso de estos bioinsumos en la agricultura sostenible.

CONCLUSIONES

La comunidad de arvenses presente en el cultivo de palma africana estuvo conformada por 19 especies pertenecientes a 10 familias botánicas, predominando las gramíneas de la familia Poaceae, con especies como *Paspalum conjugatum*, *Brachiaria extensa*, *Panicum* cf. *antidotal* y *Eleusine indica*, las cuales presentaron las mayores frecuencias relativas en el área experimental.

Los tratamientos basados en mucílago de cacao al 65%, combinado con vinagre, mostraron la mayor eficacia en el control de arvenses, alcanzando porcentajes de eficiencia de control de 87 y 88% en plantaciones juveniles y adultas, respectivamente. Asimismo, estos tratamientos redujeron significativamente la cobertura final de arvenses (19,33–26,00%) y registraron las menores alturas de malezas (11,33–14,67 cm), superando al control manual y al ácido piroleñoso.

La edad de la plantación de palma africana no influyó significativamente en la eficiencia de control de arvenses; sin embargo, las plantaciones adultas presentaron una mayor altura promedio de malezas que las juveniles. Además, la aplicación de los bioherbicidas evaluados no produjo variaciones importantes en el pH del suelo durante el período experimental, lo que evidencia su potencial como alternativa sostenible para el manejo de arvenses en sistemas de producción de palma africana.

LITERATURA CITADA

- ALAM (Asociación Latinoamericana de Malezas). 1974. Resumen del panel sobre métodos para la evaluación de ensayos en control de malezas en Latinoamérica. Cali, Colombia: II Congreso de ALAM. 12 p.
- Alemán, F. 2004. Manejo de arvenses en el trópico. 2ª ed. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria. p. 1-180. <https://repositorio.una.edu.ni/2799/1/nh60a3672004.pdf>
- Alvarado, A., D. Carrera y G. Yange. 2016. Estudio del impacto en el control natural de malezas a partir del vinagre. Revista Caribeña de Ciencias Sociales, diciembre 2016: 1–15. <https://www.eumed.net/rev/caribe/2016/12/vinagre.html>
- Batista, E.L., A.V. Verdecia, y R.M. Yero. 2023. El ácido piroleñoso de marabú: una alternativa agroecológica para el combate de arvenses. Avances 25(1): 35–44. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8953050>
- Becerra, J.R., E.K. Tinoco, I.F. Bravo, J.A. Campaña y N.Y. Pérez. 2023. Análisis de datos en el cuidado de *Elaeis guineensis* Jacq. en Colombia, Ecuador y Perú. Revista Ciencia y Tecnología 16(1): 35–42. <https://doi.org/10.18779/cyt.v16i1.470>
- Bedmar, F., J.J. Eyherabide y E.H. Satorre. 2002. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. 2th ed. pp. 273-311. Producciones Gráficas Sirio.
- Blanco, Y. 2016. El rol de las arvenses como componente en la biodiversidad de los agroecosistemas. Cultivos Tropicales 37(4): 34–56. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193247419003>
- Calle, A., J. Cheverría, A. Avilés, M. Carrera, B. Carrera y A. Alvarado. 2018. Uso del mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el control de *Rottboellia cochinchinensis*. El Misionero del Agro 5(19): 45–53. <https://puceinvestiga.puce.edu.ec/es/publications/uso-del-mucilago-de-cacao-theobroma-cacao-l-trinitario-en-el-cont/>
- Carrasco, C.B. y S.M. Guerrero. 2022. Obtención y caracterización de un biocontrol mediante fermentación bifásica alcohólica y acética del mucílago de café (*Coffea canephora*). Tesis Ingeniería Química, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/60194>
- Carrasco, V.G. 2023. Mecanismos de acción de herbicidas generadores de especies reactivas de oxígeno. Tesis Ingeniería Agrícola. Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: https://www.siiia.unam.mx/siiia-publico/v/include/modulo_productos/tesis.php?id=957966
- Enríquez, M.A., L.A. Torres, M.A. Hidalgo y R.V. Montesdeoca. 2026. Estabilidad fisicoquímica, microbiológica y funcional de un biofertilizante líquido producido por fermentación láctica de suero de queso y residuos vegetales amazónicos del Ecuador. Polo del Conocimiento 11(3): 3337–3362. <https://doi.org/10.23857/pc.v11i3.11320>

- Gómez, B.C. 2020. Análisis de costos de producción de aceite crudo de palma en Ecuador. Tesis Magister en Dirección de Operaciones y Seguridad Industrial. Quito, Ecuador: Universidad de las Américas. Disponible en: <https://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/13442>
- INFOSTAT, 2019. InfoStat: software estadístico. Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba. Disponible en: <https://www.infostat.com.ar>
- Li, Z.H., Q. Wang, X. Ruan, C. Pan, and D. Jiang. 2010. Phenolics and plant allelopathy. *Molecules* 15(12): 8933–8952. <https://doi.org/10.3390/molecules15128933>
- Mahmudul, H., A.H. Muhammad, R. Adam, and H. Hafizuddin. 2021. Bioherbicides: an eco-friendly tool for sustainable weed management. *Plants* 10(6): 1212. <https://doi.org/10.3390/plants10061212>
- Montero, S. 2014. Use of vinegar in the desiccation of black oats in organic systems. Tesis Magister Scientiae. Viçosa, Brasil: Universidade Federal de Viçosa. Disponible en: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/4631/1/texto%20completo.pdf>
- Hael, V., S.M. Perato, M.E. Arias, M.G. Martínez, P.A. Peto, G. G. Martos, A.P. Castagnaro, J.C. Díaz, and N.R. Chalfoun. 2017. The elicitor protein AsES induces a systemic acquired resistance response accompanied by systemic microbursts and micro-hypersensitive responses in *Fragaria ananassa*. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 31(1). <https://doi.org/10.1094/MPMI-05-17-0121-FI>
- Peña, G.S. 2021. Efecto del cambio de fertilización sobre el rendimiento y actividad microbiana del suelo en un cultivo de amaranto (*Amaranthus* sp.) Tesis Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico. Disponible en: <https://ru.dgb.unam.mx/items/878cf8af-4e30-4019-a93e-68b11458ef52>
- Rivera, Y.D., I.M. Ayala y H. M. Romero. 2020. Respuesta fisiológica de la palma de aceite a herbicidas al plato. *Palmas* 41(2): 27–37. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/13165>
- Rodríguez, A.M., S. Suárez y D.E. Palacio. 2014. Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana Higiene y Epidemiología* 52(3): 372–387. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223240764010>
- Samedani, B., A.S. Jurami, S.A. Abdullah, M.Y. Rafii, A.A. Rahim, and P. Anwar. 2014. Effect of cover crops on weed community and oil palm yield. *International Journal of Agriculture and Biology* 16(1): 23–31. https://fspublishers.org/published_papers/41353_...pdf
- Sánchez, D. M., W. Rodríguez, D. F. Castro y E. Trujillo. 2019. Respuesta agronómica de mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) en cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Ciencia en Desarrollo* 10(2): 43–58. <https://doi.org/10.19053/01217488.v10.n2.2019.7958>
- Santillán, F., D. Arias, y S. Ramos. 2015. Identificación taxonómica de arvenses presentes en el cultivo de palma aceitera. *Ecuador es Calidad* 1(1): 2528-7850. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122436/records/67598466c7a957febdfa3610>
- Serrao, A.A. 2000. Evaluación de guadañadora, aspersoras y boquillas para el control de malezas en palma africana *Elaeis Guineensis* Jacq. Manta, Ecuador: INIAP. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/items/fc88cac9-5797-47bf-acd6-a87863dbdae3>
- Téllez, K.I., M.A. Fontecha y F. Mesa. 2021. Actividad herbicida de glifosato con gel de sábila como coadyuvante en el establecimiento de *Brachiaria decumbens*. *Centro Agrícola* 48(1): 37–42. https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Aagcd%3A8%3A40106744/detail-v2?sid=ebsco%3Aocu%3Arecord&id=ebsco%3Aagcd%3A149753360&bquery=DE%20%22ALOE%22&page=1&searchDescription=ALOE&limiters=RV%3AY&crl=f&link_origin=www.google.com
- Valverde, J.E., W.O. Morales, and W.J. Yáñez. 2025. Ecological control of aphids in mandarins using pyroligneous acid derived from citrus waste. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences* 13(3): 364–379. [https://doi.org/10.18006/2025.13\(3\).364.379](https://doi.org/10.18006/2025.13(3).364.379)
- Vera, R., J. Vera, L.H. Vásquez, F.J. Cobos, S.L. Rodríguez, A.M. Pazmiño y J.A. Villamarín. 2025. Efectos del mucílago de cacao adicionando con tres niveles de vinagre y melaza como herbicida en el cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista de la Sociedad Científica del Paraguay* 30(1): 1–13. Disponible en: <https://doi.org/10.32480/rscp.2025.30.1.0113>
- Vera-Chang, J.F., A.J. Tobar Nivela, L.H. Vásquez, F.R. Medina Pinoargote, M.D. López, and H.E. Córdova. 2025. Use of cocoa mucilage (*Theobroma cacao* L.) for the control of weeds in African palm (*Elaeis guineensis*). *Salud, Ciencia y Tecnología* 5:1-8. <https://doi.org/10.56294/saludcyt20251832>

Vera, J., y J.S. Vera. 2026. Compendio de diseño y análisis de experimentos con R Studio. Quevedo, Ecuador: Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Disponible en: <https://www.uteq.edu.ec/es/investigacion/libro/580>

Webber C.L., M.A. Harris, J.W. Sherefiler, and C.A. Christopher. 2005. Vinegar as an organic herbicide. Proceedings of the 24 th Annual Horticulture Industries Show. p. 168-172. <https://www.ars.usda.gov/research/publications/publication/?seqNo115=176571>

