

Fitotoxicidad del mucílago de cacao sobre malezas en el cultivo de cacao CCN-51 *Theobroma cacao* L.

Phytotoxicity of cocoa mucilage on weeds in the cocoa crop CCN-51 *Theobroma cacao* L.

Fitotoxicidade da mucilagem de cacau sobre ervas daninhas na cultura do cacau CCN-51 *Theobroma cacao* L.

Marín-Cuevas, Carmen Victoria
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
cmarin@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-8128-9170>



Menace-Almea, Moisés Arturo
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
mmenace@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-4636-2520>



Carranza-Patiño, Mercedes
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
mcarranza@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-0917-0415>



Herrera-Feijoo, Robinson Jasmany
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
rherreraf2@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3205-2350>



Tuárez-Villacís, Geovanny Jonathan
Investigador independiente
geovanny.tuarez2016@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0009-3127-6978>



 DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/n1/405>

Como citar:

Marín-Cuevas, C. V., Menace-Almea, M. A., Carranza-Patiño, M., Herrera-Feijoo, R. J., & Tuárez-Villacís, G. J. (2024). Fitotoxicidad del mucílago de cacao sobre malezas en el cultivo de cacao CCN-51 *Theobroma cacao* L. *Código Científico Revista De Investigación*, 5(1), 710–729.

Recibido: 09/05/2024

Aceptado: 13/06/2024

Publicado: 30/06/2024

Resumen

La gestión de malezas en el cultivo de cacao es crucial para la sostenibilidad del sector cacaotero en Ecuador. Este estudio evaluó la eficacia del mucílago de cacao como una alternativa biológica al control de malezas en el cultivo de cacao CCN-51, utilizando un diseño de bloques completos al azar con seis tratamientos, incluidos dos testigos: uno químico y uno mecánico. Se recolectaron mazorcas de cacao y el mucílago fue fermentado anaeróbicamente durante 40 días. Los tratamientos incluyeron diferentes concentraciones de mucílago de cacao: 100%, 75%, 50% y 25%. Los resultados a los 21 días después de la aplicación mostraron que el tratamiento con mucílago al 75% (T4) tuvo una efectividad del 86.67% en el control de malezas, destacándose como una alternativa viable al tratamiento químico, que tuvo un 95% de efectividad. El análisis económico indicó que el tratamiento T4 es rentable con un costo de \$35, ofreciendo un equilibrio entre eficacia y costo. Estos hallazgos sugieren que el mucílago de cacao puede ser una alternativa eficaz y sostenible para el control de malezas en el cultivo de cacao, reduciendo la dependencia de herbicidas químicos y contribuyendo a la conservación del medio ambiente, proporcionando además beneficios económicos significativos para los agricultores de cacao.

Palabras clave: Alternativas de control, baba de cacao, control biológico, control de malezas, herbicida sistémico.

Abstract

Weed management in cocoa cultivation is crucial for the sustainability of the cocoa sector in Ecuador. This study evaluated the efficacy of cocoa mucilage as a biological alternative to weed control in cocoa crop CCN-51, using a randomized complete block design with six treatments, including two controls: one chemical and one mechanical. Cocoa cobs were harvested and the mucilage was fermented anaerobically for 40 days. The treatments included different concentrations of cocoa mucilage: 100%, 75%, 50% and 25%. The results 21 days after application showed that the 75% mucilage treatment (T4) was 86.67% effective in weed control, standing out as a viable alternative to the chemical treatment, which was 95% effective. Economic analysis indicated that the T4 treatment is cost-effective at a cost of \$35, offering a balance between efficacy and cost. These findings suggest that cocoa mucilage can be an effective and sustainable alternative for weed control in cocoa cultivation, reducing dependence on chemical herbicides and contributing to environmental conservation, while providing significant economic benefits for cocoa farmers.

Keywords: Control alternatives, cocoa slime, biological control, weed control, systemic herbicide.

Resumo

O manejo de ervas daninhas na cultura do cacau é crucial para a sustentabilidade do setor cacaueiro no Equador. Este estudo avaliou a eficácia da mucilagem de cacau como uma alternativa biológica para o controle de ervas daninhas na cultura do cacau CCN-51, utilizando um desenho de blocos completos aleatórios com seis tratamentos, incluindo dois controles: um químico e um mecânico. As vagens de cacau foram colhidas e a mucilagem foi fermentada anaerobicamente durante 40 dias. Os tratamentos incluíram diferentes concentrações de mucilagem de cacau: 100%, 75%, 50% e 25%. Os resultados obtidos 21 dias após a aplicação mostraram que o tratamento com 75% de mucilagem (T4) foi 86,67% eficaz no controle das infestantes, destacando-se como uma alternativa viável ao tratamento químico, que foi 95% eficaz. A análise econômica indicou que o tratamento T4 é rentável a um custo de 35 dólares, oferecendo um equilíbrio entre eficácia e custo. Estes resultados sugerem que a mucilagem de

cacau pode ser uma alternativa eficaz e sustentável para o controle de ervas daninhas na cultura do cacau, reduzindo a dependência de herbicidas químicos e contribuindo para a conservação ambiental, ao mesmo tempo que proporciona benefícios econômicos significativos para os produtores de cacau.

Palavras-chave: Alternativas de controle, baba de cacau, controle biológico, controle de infestantes, herbicida sistémico.

Introducción

La gestión adecuada de malezas es esencial para mantener un ambiente óptimo en los campos de cultivo de cacao, un cultivo de suma importancia económica en Ecuador. Según datos del INEC de 2020, la superficie de cacao plantada a nivel nacional abarcó 590,579 hectáreas, con una marcada concentración en la provincia de Los Ríos, que representó el 28.36% de dicha superficie (INEC, 2020). En este contexto, la problemática de las malezas cobra relevancia significativa. El enfoque predominante para abordar el desafío de las malezas en la agricultura, incluido el cultivo de cacao, se ha centrado en el uso de herbicidas químicos. Los herbicidas, como el glifosato, son utilizados a nivel mundial debido a su eficacia en el control de malezas y la reducción del costo laboral. Sin embargo, esta estrategia conlleva efectos perjudiciales para el medio ambiente, la salud humana y la biodiversidad (Mohd et al., 2023). El incremento en el uso de glifosato, impulsado por la aparición de semillas resistentes que requieren dosis más altas, ha generado preocupaciones adicionales (Van Bruggen et al., 2018).

La escasez de alternativas orgánicas viables ha llevado a los agricultores a depender en gran medida de los herbicidas químicos para la gestión de malezas. En este contexto, se vuelve crítico fomentar la conciencia sobre técnicas de manejo que no solo sean efectivas, sino que también respeten el medio ambiente y promuevan prácticas agrícolas sostenibles (Basu & Rao, 2020; Martínez et al., 2019). En 2020, a pesar de las restricciones y el impacto económico global provocado por la pandemia de COVID-19, el sector cacaotero ecuatoriano logró exportar exitosamente 815.5 millones de dólares. Además, en los primeros cinco meses de

2021, las exportaciones de cacao alcanzaron los 266.4 millones de dólares, reflejando un balance comercial positivo y en ascenso, reafirmando la importancia de este producto en el país (Chicaiza Intriago et al., 2024).

La mazorca de cacao está compuesta por la cáscara, el pedúnculo, el mucílago y las semillas (Sánchez et al., 2019). La capa interna de la cáscara o endocarpio se extiende hacia una pulpa mucilaginoso azucarada, llamada mucílago, que rodea a las semillas a medida que la mazorca madura (Saavedra-Sanabria et al., 2021). La fermentación del cacao es una etapa fundamental en la obtención del grano, en la cual participan diferentes microorganismos como levaduras, bacterias lácticas y acéticas (Romero & Zambrano, 2018). El residuo resultante de la fermentación del mucílago puede emplearse como materia prima en la fabricación de diversos productos (Criollo, 2022). Debido a su elevado contenido de azúcares fermentables, se utiliza en la producción de bebidas alcohólicas (Pacheco Uribe, 2020). El mucílago de cacao se caracteriza por su riqueza en polifenoles, los cuales actúan como antioxidantes principales con efectos vasodilatadores y vasoprotectores (Quiñones et al., 2012). Estos compuestos y otros presentes en el mucílago realzan su potencial industrial reutilizable (Criollo, 2022).

A pesar de las numerosas ventajas del mucílago de cacao, su utilización adecuada no se encuentra extendida entre los agricultores. La infrautilización del mucílago puede estar influenciada por diversos factores, tales como la falta de conocimiento, la falta de interés por parte de los agricultores y la ausencia de enfoques innovadores (Estrella, 2013). En este contexto, se destaca el potencial subestimado del mucílago, un subproducto del cacao. Investigaciones han resaltado que el mucílago de cacao al 100% presenta una alta capacidad de control sobre malezas de hojas anchas y angostas, logrando superar el 70% de eficacia (Noroña, 2018).

Este estudio se dedicó a examinar el nivel de control y la toxicidad en diversas especies de malezas presentes en el cultivo de cacao CCN-51 mediante la utilización del mucílago de

cacao. Se exploraron diversas dosis de mucílago para determinar cuál ofrecía el control más efectivo de las malezas. Además, se llevó a cabo una evaluación económica exhaustiva de cada tratamiento, permitiendo la identificación de la opción más beneficiosa para los productores en términos de costos y beneficios. Este enfoque integrado busca no solo optimizar los resultados agronómicos, sino también garantizar la viabilidad económica y el respeto por el entorno.

Metodología

1. Área de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), específicamente en el Campus Experimental "La María", situado en el kilómetro 7 de la vía Quevedo - El Empalme. Las coordenadas geográficas de este sitio son de 1°04'49" de latitud sur y 79°32'42" de longitud oeste, con una altitud de 66 metros sobre el nivel del mar (m s.n.m). En términos climáticos, el área se caracteriza por una humedad relativa media con un promedio de 84%. La temperatura media anual se establece en 24.9°C, mientras que la precipitación media anual promedio es de 2295.2 mm. La heliofanía, que representa la cantidad de horas de sol al año, alcanza un promedio de 870.2 hs/sol/año. La evaporación promedio anual se sitúa en 999.0 mm.

2. Preparación del área experimental

Recolección y fermentación del mucílago de cacao

El proceso de obtención del mucílago de cacao CCN-51 se realizó a partir de mazorcas recolectadas en la plantación establecida en el Campus Experimental "La María". Es importante resaltar que la integridad de las almendras de cacao no fue afectada durante el transcurso de la investigación. Durante la fase de cosecha, se colocó un plástico en el suelo, estratégicamente posicionado con una ligera inclinación. Sobre este plástico se dispuso el cacao

cosechado, permitiendo que el mucílago escurriera de manera natural durante un período de siete días.

Una vez completado este proceso, se procedió a recoger el mucílago escurrido en un tanque de 60 litros. Para preservar la integridad del mucílago, se selló el tanque herméticamente. A continuación, el mucílago recolectado fue sometido a un proceso de fermentación anaeróbica que se prolongó durante 40 días. Este proceso de fermentación se llevó a cabo de acuerdo con las pautas descritas por Noroña (2018), para asegurar su correcto desarrollo y obtener los resultados deseados.

Delimitación de las Parcelas

Una vez que el área experimental presentó una cobertura completa de malezas tras un período de 30 días sin la aplicación de ningún herbicida, se procedió a la delimitación y establecimiento de 18 parcelas. Cada parcela tenía unas dimensiones de 3 x 9 metros y se distinguieron entre sí mediante el uso de cintas de colores.

3. Control de Maleza

Se emplearon cinco bombas de mochila de manera individualizada para prevenir la posible mezcla de herbicidas entre sí. La cantidad de herbicida químico (Paraquat) utilizada fue de 1.5 litros por cada 200 litros de agua por hectárea. En cuanto al mucílago de cacao, se aplicó la dosis correspondiente a cada tratamiento. Estos tratamientos fueron aplicados en intervalos de siete días a lo largo de un período de dos meses.

4. Diseño del experimento

Se empleó un diseño de bloques completos al azar (Shieh & Jan, 2004); con un total de seis tratamientos, incluyendo dos testigos: uno de tipo químico y otro mecánico. Cada tratamiento y testigo se replicó en tres ocasiones para garantizar la robustez de los resultados. Para evaluar las diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA), seguido de la prueba de Tukey con un nivel de confianza del

95%. Los tratamientos utilizados fueron: testigo mecánico (T1), testigo químico Paraquat (1.5 L/ha, T2), mucílago de cacao al 100% (3 L, T3), mucílago de cacao al 75% (2.25 L, T4), mucílago de cacao al 50% (1.5 L, T5) y mucílago de cacao al 25% (0.75 L, T6). Este diseño permitió comparar de manera efectiva la eficacia de diferentes concentraciones de mucílago de cacao en el control de malezas, en relación con los métodos químicos y mecánicos tradicionales. El uso del análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey es crucial en este contexto, ya que ANOVA identifica diferencias significativas entre grupos, y la prueba de Tukey especifica entre qué grupos existen esas diferencias (Schober & Vetter, 2020).

5. Toma de Datos y Variable Evaluadas

La toma de datos incluyó el uso del método del cuadrante, que implica la creación de un cuadrado de 1 metro cuadrado de superficie lanzado al azar dentro de cada parcela correspondiente a cada tratamiento y repetición. Dentro de esta área, se registraron y contabilizaron las malezas presentes, tanto las controladas como las activas. Este proceso se repitió en las tres repeticiones de cada tratamiento, calculando un promedio y determinando el porcentaje de malezas controladas mediante una regla de tres, siguiendo la metodología propuesta por Urgilés (2018).

Las variables evaluadas incluyeron el control visual de la cobertura de maleza, evaluado en porcentaje a los 21 días de la aplicación de los tratamientos; la identificación de especies y familias de malezas, registrando las especies antes y después de los tratamientos; y la altura de malezas por especie, medida antes y después de los tratamientos. Tanto el control de fitotoxicidad fue evaluado a los 7, 14 y 21 días, como el peso de biomasa verde de maleza fue medido a los 21 días utilizando ANOVA y prueba de Tukey. Además, se realizó un análisis económico comparando los costos de aplicación de cada tratamiento, incluyendo costos fijos y variables, donde el tratamiento T6 resultó ser el más económico y el tratamiento T4 ofreció un buen equilibrio entre costo y eficacia.

Resultados

1. Control Visual de la Cobertura de Maleza

Se pudo observar que los tratamientos de control tuvieron un impacto más pronunciado en la cobertura de malezas, destacándose el T1 (mecánico) como el más efectivo en términos porcentuales al lograr una cobertura del 100%. Sin embargo, el T4 (mucílago al 75%) demostró un control del 86.67% sobre la cobertura de malezas, lo que se considera altamente efectivo según la escala de evaluación de la Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM). En contraste, el T6 no mostró ningún efecto observable sobre las malezas (Tabla 1).

Tabla 1.

Control visual de la cobertura de maleza a los 21 días de la aplicación de los tratamientos.

Tratamiento	Nivel de control	Denominación
T 1. Testigo mecánico	100.00	Excelente
T 2. Testigo químico Paraquat (1,5 l/ha)	95.00	Excelente
T 3. Mucílago al 100% (3 L)	78.33	Bueno
T 4. Mucílago al 75% (2.25 L)	86.67	Muy Bueno
T 5. Mucílago al 50% (1.5 L)	46.67	Regular
T 6. Mucílago al 25% (0.75 L)	16.67	Ninguno a pobre

Nota: Autores (2024)

2. Control por especies y familias

Transcurridos 21 días después de la aplicación, se logró identificar un total de 21 especies agrupadas en 10 familias distintas. Las familias más notablemente afectadas por la aplicación fueron *Amaranthaceae*, *Cyperaceae*, *Euphorbiaceae*, *Fabaceae*, *Onagraceae* y *Urticaceae*. Es importante destacar que estos resultados se basan en la comparación con los individuos contabilizados al inicio de las aplicaciones, indicando un cambio significativo en la composición y abundancia de estas especies vegetales en respuesta al tratamiento (Tabla 2).

Tabla 2.

Control visual de la cobertura de maleza por familia y especies a los 21 días de la aplicación de los tratamientos.

Familia	N° de especies por familia	Nombre científico	N° de individuos antes de la 1era aplicación	N° de individuos antes de la última aplicación
		<i>Coryza bonariensis.</i>		
		<i>Baccharis salicifolia.</i>		
Asteraceae	5	<i>Chamaemelum nobile.</i>	60	15
		<i>Avena fatua L.</i>		
		<i>Coryza bonariensis.</i>		
Amaranthaceae	1	<i>Amaranthus viridis L.</i>	5	0
		<i>Philodendron panduriforme.</i>		
Araceae	3	<i>Rottboellia cochinchinensis.</i>	33	6
		<i>Pueraria phaseoloides.</i>		
Cyperaceae	1	<i>Cyperus esculentus.</i>	13	0
Euphorbiaceae	1	<i>Euphorbia graminea Jacq.</i>	7	0
Fabaceae	1	<i>Desmodium molliculum.</i>	6	0
Malvaceae	1	<i>Anoda cristata.</i>	12	2
Onagraceae	1	<i>Ludwigia peruviana</i>	3	0
		<i>Eleusine indica.</i>		
		<i>Schizachyrium condensatum.</i>		
Poaceae	6	<i>Poa annua L.</i>	64	4
		<i>Echinochloa colona.</i>		
		<i>Panicum maximum Jacq.</i>		
		<i>Paspalum quadrifarium.</i>		
Urticaceae	1	<i>Urtica urens L.</i>	4	0

Nota: Autores (2024)

3. Altura de maleza por especies

Se observa que el crecimiento de ciertas malezas, como el bleo, el clavo de río, la escoba, la lechosa, la ortiga blanca, la paja saboya y la paja virgen, mostró los valores promedio

más reducidos al concluir el período de aplicaciones del mucílago de cacao. Estos resultados señalan una influencia negativa significativa del tratamiento de mucílago en el desarrollo de estas especies de malezas, lo cual sugiere una potencial efectividad del mucílago como agente de control (Tabla 3).

Tabla 3.

Altura de maleza por especie al inicio y al final de la aplicación de tratamientos.

Nombre de maleza	Familia	Altura de planta al inicio (cm)	Altura de planta al final (cm)
Albahaca silvestre	<i>Asteraceae</i>	0,22	0,50
Avena guacha	<i>Asteraceae</i>	0,51	1,35
Bledo	<i>Amaranthaceae</i>	0,19	0,00
Cadillo	<i>Fabaceae</i>	0,29	0,32
Camachillo	<i>Araceae</i>	0,18	0,33
Caminadora	<i>Araceae</i>	1,04	0,96
Chilca	<i>Asteraceae</i>	0,22	0,51
Clavo de río	<i>Onagraceae</i>	0,29	0,00
Coquillo	<i>Cyperaceae</i>	0,20	0,60
Escoba	<i>Poaceae</i>	0,44	0,00
Kutzu	<i>Araceae</i>	0,70	1,07
Lechoza	<i>Euphorbiaceae</i>	0,78	0,00
Malva	<i>Malvaceae</i>	0,26	0,58
Manzanilla	<i>Asteraceae</i>	0,15	0,33
Ortiga blanca	<i>Urticaceae</i>	0,18	0,00
Paja de burro	<i>Poaceae</i>	0,14	0,42
Paja de ratón	<i>Poaceae</i>	0,40	0,33
Paja palillo	<i>Poaceae</i>	0,67	0,76
Paja saboya	<i>Poaceae</i>	0,97	0,00
Paja virgen	<i>Poaceae</i>	0,44	0,00
Pasto de invierno	<i>Poaceae</i>	0,08	0,12
Pelo de negra	<i>Asteraceae</i>	0,16	0,20

Nota: Autores (2024)

4. Control de fitotoxicidad a los 7, 14 y 21 días

El control de fitotoxicidad de los tratamientos fue evaluado a los 7, 14 y 21 días después de la aplicación. Los resultados, presentados en la Tabla 4, muestran diferencias significativas entre los tratamientos en términos de efectividad en el control de malezas.

A lo largo de todo el período de evaluación, el tratamiento T1 (mecánico) fue consistentemente el más efectivo, alcanzando un control del 100% a los 21 días. El tratamiento químico T2 (Paraquat) también demostró alta efectividad, con un 95% de control al final del estudio. Los tratamientos con mucílago de cacao mostraron una efectividad variable, dependiente de la concentración aplicada. El tratamiento T4 (mucílago al 75%) destacó entre estos, logrando un control del 86.67% a los 21 días, indicando una alta efectividad. Sin embargo, las concentraciones más bajas de mucílago (T5 y T6) presentaron menores porcentajes de control, con T6 (mucílago al 25%) mostrando la menor efectividad general.

Estos resultados indican que, aunque los tratamientos mecánicos y químicos son más efectivos para el control de malezas, el mucílago de cacao al 75% puede ser una alternativa viable, proporcionando un equilibrio razonable entre efectividad y sostenibilidad ambiental. Las diferencias observadas en la efectividad de los tratamientos fueron estadísticamente significativas según el análisis de varianza (ANOVA) seguido de la prueba de Tukey, confirmando la robustez de estos hallazgos.

Tabla 4.

Control de fitotoxicidad a los 7, 14 y 21 días de tratamientos.

Tratamientos	D. 7	D. 14	D. 21
T 1. Testigo mecánico	96.67 a	97.67 a	100.00 a
T 2. Testigo químico Paraquat (1,5 l/ha)	73.33 b	80.00 b	95.00 ab
T 3. Mucílago al 100% (3 L)	63.33 bc	71.67 bc	78.33 c

T 4. Mucílago al 75% (2.25 L)	54.33 c	66.67 c	86.67 bc
T 5. Mucílago al 50% (1.5 L)	28.33 d	38.33 d	46.67 d
T 6. Mucílago al 25% (0.75 L)	6.67 e	11.67 e	

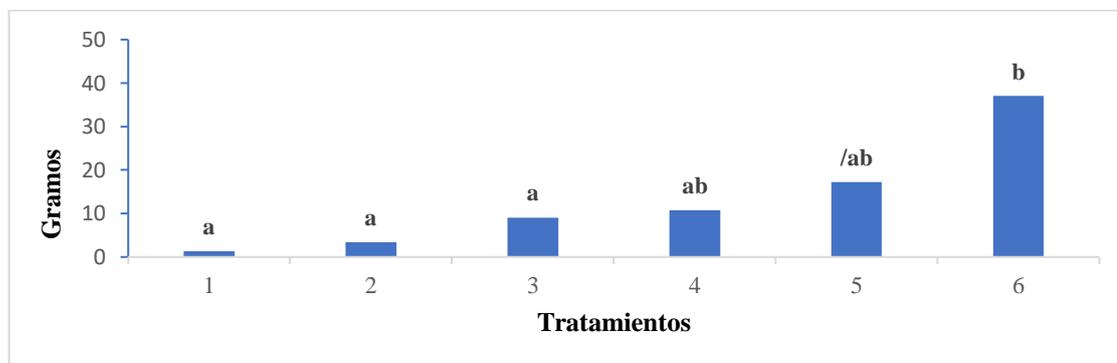
Nota: Autores (2024)

5. Peso de biomasa verde de maleza

El peso de la biomasa verde de maleza a los 21 días después de la aplicación de los tratamientos mostró diferencias significativas entre los tratamientos, como se observa en la figura. El tratamiento mecánico (T1) registró el menor peso de biomasa, mientras que el tratamiento con la menor concentración de mucílago (T6) mostró el mayor peso de biomasa, indicando una menor efectividad en el control de malezas. Los tratamientos con mucílago al 100% (T3) y al 75% (T4) fueron más efectivos en la reducción de la biomasa de maleza, ubicándose en categorías intermedias y cercanas al control químico (T2). Estos resultados sugieren que, aunque los tratamientos mecánicos y químicos son más efectivos, las concentraciones más altas de mucílago de cacao también proporcionan un control considerablemente efectivo (Figura 1).

Figura 1.

Peso de biomasa verde a los 21 días de aplicación de tratamientos en estudio.



Nota: Autores (2024)

6. Análisis económico

En el análisis económico de los tratamientos examinados, se observó que el tratamiento T6 presentó el costo más bajo, con un valor de \$30.50. El tratamiento T4 mostró un costo de \$35.00, lo cual es inferior en comparación con los tratamientos de control T1 y T2, que tuvieron valores de \$37.50 y \$46.50 respectivamente (Tabla 5). Estos resultados indican que los tratamientos con mucílago de cacao, especialmente T6 y T4, son opciones económicamente viables, proporcionando un equilibrio favorable entre costo y eficacia en comparación con los métodos mecánicos y químicos tradicionales.

Tabla 5.

Análisis económico de los tratamientos estudiados.

TRATAMIENTOS						
Rubros	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Costos fijos						
Botas	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Bomba 20 L	0,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Mascarilla	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Gafas	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Guantes	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Machete	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lima	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aplicación de tratamiento	20,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Total de costos fijos	37,50	27,50	27,50	27,50	27,50	27,50
Costos variables						
Herbicida	0,00	19,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mucílago de cacao	0,00	0,00	10,00	7,50	5,00	3,00

Total de costos variables	0,00	19,00	10,00	7,50	5,00	3,00
Total de costo de aplicación	37,50	46,50	37,50	35,00	32,50	30,50

Nota: El precio de la caneca de 20 litros de mucílago de cacao cuesta \$ 7,5 dólares de acuerdo con el precio comercializado por la empresa Ristok cacao.

Discusión

El presente estudio aborda la preocupante problemática derivada del uso excesivo de productos químicos en la agricultura, destacando su impacto ambiental y económico en la comunidad agrícola (Moreno et al., 2021). La necesidad de abordar estas preocupaciones ha impulsado la búsqueda de alternativas sostenibles, como es el caso del uso del mucílago de cacao en el control de malezas en el cultivo de cacao CCN-51.

La base del estudio se asienta en investigaciones previas que han revelado las dosis más efectivas de mucílago de cacao, las cuales se sitúan por debajo de tres litros. Resultados anteriores, como los de Hipo (2017), han subrayado la fitotoxicidad en especies de malezas tanto de hojas anchas como angostas. Los tratamientos H1D2A2 y H1D1A1 han presentado una notoria mortalidad a los 8 y 15 días, alcanzando cifras del 95.58% y 94.7% respectivamente. En adición, se ha notado que especies como *Cuphea carthagenensis*, *Cyperus oduratus* y *Lindernia crustacea* han respondido de manera positiva a concentraciones de 1 litro de mucílago de cacao al 100%, logrando un control total del 100%, 96.98% y 100%, respectivamente, lo cual concuerda con los hallazgos de Noroña (2018). Por otro lado, la especie *Eleusine* ha demostrado mayor resistencia, demandando una dosis de mucílago de cacao al 100% para alcanzar un nivel de control del 70.98%.

En paralelo, al analizar el estudio llevado a cabo por Pérez & López (2019), se identificó que el tratamiento más exitoso en el biocontrol de malezas mediante aguas mieles de cacao fue el tratamiento T3 BH2C3, compuesto por 0.51 L de aguas mieles de cacao fermentado, 100 g

de cloruro de sodio y 0.49 L de agua, logrando controlar un 36.00% de las malezas presentes en las parcelas experimentales netas. Este tratamiento demostró una efectividad particular en el control de malezas de hoja angosta, con un porcentaje del 20.67%, seguido de malezas de hoja ancha con un 15.33%. En contraposición, con el presente estudio, el tratamiento T4 de Mucílago al 75% (2.25 L) a los 21 días demostró un control del 86.67% sobre la cobertura de malezas de hojas anchas y angostas en el cultivo de cacao. De la misma manera (Santos, 2020) muestra que el mucílago del cacao cuando es fermentado aeróbicamente produce ácido acético y al mezclarlo con el cloruro de sodio (NaCl) tiene un efecto secante en las hojas de la maleza produciendo así su muerte. De esta manera, estos resultados subrayan la efectividad del mucílago de cacao como un agente de control fitotóxico, evidenciando variaciones en el éxito de diferentes tratamientos y su potencial impacto en la gestión de malezas en el cultivo de cacao.

En la investigación presentada el tratamiento T3 (mucílago al 100%) mostró un porcentaje de control de malezas del 73.33%. En cuanto a los tratamientos en estudio, se determinó que, a los 14 días, el T3 exhibió una eficacia del 80%, en concordancia, con la investigación realizada por Hipo (2017), destacando que los tratamientos que emplearon exclusivamente mucílago de cacao presentaron promedios de control superiores en comparación con los tratamientos que incluyeron biol. Entre estos, los tratamientos H1D1A2 (100% de mucílago) y H1D2A2 (50% de mucílago) obtuvieron un control del 88.33% y 81.67% a los 8 días después de la primera aplicación, y del 96% y 95% a los 15 días después de la segunda aplicación. Además, se observó que las familias *Brassicaceae*, *Plantaginaceae* y *Solanaceae* fueron las más afectadas por la aplicación del mucílago de cacao, con un 100% de afectación.

En relación con la población de malezas, se encontró que ciertas especies, como *Cuphea carthagenensis*, *Cyperus oduratus* y *Lindernia crustacea*, fueron particularmente afectadas por

el mucílago de cacao. Esta observación se alinea con hallazgos de Castillo & Flores (2023) que indican que altas concentraciones (75-100%) tienen un impacto significativo en la reducción de estas especies no deseadas. Este hallazgo muestra similitudes con los resultados obtenidos en la presente investigación, se evidenció que las altas concentraciones, particularmente el 100% y 75% de mucílago, tuvieron un impacto significativo en la reducción de la presencia de malezas en las plantaciones de cacao. Sin embargo, cabe resaltar que los tratamientos químicos, como el uso del herbicida Paraquat, mostraron un espectro más amplio de afectación.

En la investigación, se lograron identificar un total de 22 especies catalogadas como malezas. Estas especies experimentaron un impacto significativo tras la aplicación de mucílago de cacao, y entre ellas, aquellas como el bleado, clavo de río, escoba, lechoza, ortiga blanca, paja saboya y paja virgen exhibieron los valores de altura más bajos al concluir el período de aplicaciones de 21 días. De hecho, sus alturas se redujeron a 0 cm, lo que apunta que el mucílago de cacao tuvo un efecto letal sobre estas especies de malezas en particular. Este resultado encuentra respaldo en el estudio realizado por Cabrera (2016), en el cual se analizó la altura de la paja pelada en un cultivo de cacao bajo diferentes concentraciones de mucílago. Cabrera evaluó distintas proporciones de mucílago y agua, incluyendo el 100% de mucílago, el 75% de mucílago, el 50% de mucílago y 25% de agua, y el testigo sin aplicación de compuesto alguno, ya sea orgánico o químico. Después de 15 días de la última aplicación, se tomaron las mediciones de altura de la paja peluda. Los resultados indicaron una marcada inhibición en el crecimiento de las malezas, donde el T1 alcanzó 29.04 cm, el T2 47.04 cm, el T3 53.80 cm, y el T4 (testigo) 88.34 cm de altura (30). Estos hallazgos concuerdan con la evidencia del presente estudio, resaltando la efectividad del mucílago de cacao en el control del crecimiento de las malezas en el cultivo de cacao.

En el aspecto económico, la investigación llevada a cabo por Bastidas et al. (2022) pone de manifiesto que el mucílago de cacao no se aprovecha después de la cosecha, lo que

representa una oportunidad perdida para generar nuevos ingresos y promover el desarrollo económico de las actividades productivas. La utilización del mucílago de cacao en los aspectos económicos de estos tratamientos enfatiza la rentabilidad superior que brindan a los agricultores, reforzando de esta manera la innegable viabilidad de esta alternativa. En una línea similar, el trabajo realizado por Santos (2020) presenta un proyecto que tiene como propósito introducir en los agricultores la idea de que los residuos de los cultivos de cacao pueden transformarse en recursos beneficiosos. Un ejemplo concreto es el uso del mucílago de cacao como herbicida orgánico. Este estudio se alinea con lo destacado por los investigadores mencionados, indicando que esta alternativa presenta una perspectiva prometedora para aumentar la rentabilidad y la sostenibilidad de la actividad agrícola en el contexto actual (Caicedo-Vargas et al., 2022)

Conclusión

La implementación de mucílago de cacao a los 21 días de aplicación demostró un notorio éxito en el control de malezas de hojas anchas y angostas, alcanzando un porcentaje de eficacia del 86.67%. Este resultado resalta la efectividad de la baba de cacao como herbicida sistémico en el manejo de estas especies no deseadas. El estudio reveló que la aplicación de mucílago de cacao en una concentración del 75% (2.75 L) presenta un control significativo sobre las malezas. Este impacto se debe a la capacidad de esta concentración para fluir eficazmente a través de los tejidos vegetales, alcanzando los meristemos y ejerciendo una inhibición directa sobre su crecimiento. Este proceso culmina en la supresión de su desarrollo y, finalmente, su mortalidad. Desde una perspectiva económica, el análisis financiero destaca que la aplicación de mucílago de cacao en una dosis de (0.25 L) se traduce en los costos más bajos. A pesar de esta eficiencia en términos económicos, es importante notar que las demás dosificaciones aún se mantienen por debajo de los tratamientos control en cuanto a gastos.

Estas conclusiones subrayan la potencialidad de la baba de cacao como una alternativa altamente efectiva en el control de malezas. La capacidad de esta sustancia para actuar como herbicida sistémico, combinada con su habilidad para influir en el desarrollo de las malezas, abre un horizonte prometedor en la búsqueda de métodos más sostenibles y económicamente viables para el manejo de malezas en la producción de cacao.

Referencias bibliográficas

- Bastidas, J. V., Badillo Melo, W. A., & Briones-Bitar, J. (2022). Sustainability of the Cocoa Industry: Cocoa Waste Mucilage Use to Produce Fermented Beverages. Case Study in Los Ríos Province. *International Journal of Sustainable Development & Planning*, 17(4).
- Basu, S., & Rao, Y. V. (2020). Environmental effects and management strategies of the herbicides. *International Journal of Bio-Resource and Stress Management*, 11(6), 518–535.
- Cabrera Maridueña, D. M. (2016). *Efecto del extracto del mucilago de cacao (Theobroma cacao L.) como herbicida orgánico en paja peluda (Rottboellia cochinchinensis)*.
- Caicedo-Vargas, C., Pérez-Neira, D., Abad-González, J., & Gallar, D. (2022). Assessment of the environmental impact and economic performance of cacao agroforestry systems in the Ecuadorian Amazon region: An LCA approach. *Science of the Total Environment*, 849, 157795.
- Castillo Balseca, K. A., & Flores Esquivel, E. F. (2023). *Mucílago de cacao fermentada para el control de musgo (Rigodium implexum) en el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) ccn-51 en la parroquia Guasaganda*. Ecuador: La Maná: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC).
- Correa-Salgado, M. de L., Herrera-Feijoo, R. J., Ruiz-Sánchez, C. I., & Guamán-Rivera, S. A. (2024). *Fundamentos de Bioquímica Vegetal*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.1.68>
- Chicaiza-Ortiz, C. D., Rivadeneira-Arias, V. del C., Herrera-Feijoo, R. J., & Andrade, J. C. (2023). *Biología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.1.2022.25>
- Chicaiza-Ortiz, C. D., Rivadeneira-Arias, V. del C., Herrera-Feijoo, R. J., & Andrade, J. C. (2023). *Guía de Biología Ambiental*. In *Biología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias* (pp. 6–71). Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.16>
- Chicaiza-Ortiz, C. D., Rivadeneira-Arias, V. del C., Herrera-Feijoo, R. J., & Andrade, J. C. (2023). *Prácticas de laboratorio y cuestionario sobre biología ambiental*. In *Biología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias* (pp. 92–117). Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.18>

- Chicaiza Intriago, J. G., Zambrano Briones, G. E., Delgado Villafuerte, C. R., Ávila Martínez, M. F., & Pincay Cantos, M. F. (2024). Linear Correlation Analysis of Production Parameters of Biofuel from Cacao (*Theobroma Cacao* L.) Mucilage. *Journal of Ecological Engineering*, 25(1).
- Criollo Álvarez, F. O., & Lange Díaz, F. V. (2022). *Evaluación del aprovechamiento industrial del mucílago de cacao de la variedad CCN-51 y nacional a partir de su caracterización fisicoquímica*. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Químicas.
- Estrella, Y. A. (2013). Estudio del desperdicio del mucílago de cacao en el cantón Naranjal (Provincia del Guayas). *ECA Sinergia*, 4(1), 49–59.
- Guamán-Rivera, S. A., Herrera-Feijoo, R. J., Paredes-Peralta, A. V., Ruiz-Sánchez, C. I., Bonilla-Morejón, D. M., Samaniego-Quiguiri, D. P., Paredes-Fierro, E. J., Fernández-Vélez, C. V., Almeida-Blacio, J. H., & Rivadeneira-Moreira, J. C. (2023). Sinergia Científica: Integrando las Ciencias desde una Perspectiva Multidisciplinaria. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.1.2022.33>
- Guamán-Rivera, S. A., Herrera-Feijoo, R. J., Paredes-Peralta, A. V., & Ruiz-Sánchez, C. I. (2023). Respuestas productivas de cuyes (*Cavia porcellus*) a la suplementación con harina de amaranto (*Amaranthus caudatus*) y curcuma (*Curcuma longa*): Un enfoque innovador para la cuyicultura sostenible. In *Sinergia Científica: Integrando las Ciencias desde una Perspectiva Multidisciplinaria* (pp. 1–14). Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.20>
- Herrera-Feijoo, R. J. (2024). Principales amenazas e iniciativas de conservación de la biodiversidad en Ecuador. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(1), 33–56. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n1/85>
- Herrera-Feijoo, R. J., Chicaiza-Ortiz, C. D., Rivadeneira-Arias, V. del C., & Andrade, J. C. (2023). Análisis bibliométrico como una herramienta en la biotecnología ambiental. In *Biología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias* (pp. 72–91). Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.17>
- Hipo Hipo, M. R. (2017). *Aplicación de mucílago de semillas de cacao (Theobroma cacao L.) en el control de malezas*.
- INEC-ECUADOR. (2020). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua*. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos Quito, Ecuador.
- Martínez, M., Osuna, E., & Espinosa, M. (2019). Impacto acumulado de la agricultura de conservación en propiedades del suelo y rendimiento de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(4), 766. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1640>
- Mohd Ghazi, R., Nik Yusoff, N. R., Abdul Halim, N. S., Wahab, I. R. A., Ab Latif, N., Hasmoni, S. H., Ahmad Zaini, M. A., & Zakaria, Z. A. (2023). Health effects of herbicides and its current removal strategies. *Bioengineered*, 14(1), 2259526.
- Moreno, S., Morán, E., Quijije, I., & Ochoa, D. (2021). Mucílago de *Theobroma Cacao* L. como base para un bioantimicrobiano mezclado con dos ácidos débiles: alternativas ecológicas. *Ecuadorian Science Journal*, 5(4), 98–108.
- Noroña Bastidas, C. A. (2018). *Determinación de la fitotoxicidad del mucílago de la semilla de cacao ccn-51 sobre las malezas en el cultivo de cacao*. Quito: UCE.

- Pacheco Uribe, D. Y. (2020). *Obtención de una bebida alcohólica a partir del mucilago de cacao en finca del Urabá*.
- Pérez Pisco, M., & López Gonzales, D. (2019). *Evaluación del biocontrol de malezas utilizando aguas mieles de cacao en la EEA EL PORVENIR-INIA, 2018*.
- Quiñones, M., Miguel, M., & Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*, 27(1), 76–89.
- Ruiz-Sanchez, C. I., Herrera-Feijoo, R. J., Guamán-Rivera, S. A., & Fernández-Vélez, C. V. (2023). Enfoque innovador en el diseño de revestimientos para cunetas: material compuesto de polímeros reciclados. In *Sinergia Científica: Integrando las Ciencias desde una Perspectiva Multidisciplinaria* (pp. 49–66). Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.22>
- Ruiz-Sánchez, C. I., Herrera-Feijoo, R. J., Correa-Salgado, M. de L., & Hidalgo-Hugo, L. D. (2023). *Principios Básicos de Bioquímica para Agroecología*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.23>
- Ruiz Sánchez, C. I., Herrera-Feijoo, R. J., & Correa-Salgado, M. de L. (2024). *Fundamentos teóricos de química orgánica*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.79>
- Romero, C., & Zambrano, A. (2018). Análisis de azúcares en pulpa de cacao por colorimetría y electroforesis capilar| Analysis of sugars in cocoa pulp by colorimetric and capillary electrophoresis. *UDO Agrícola*, 12(4).
- Saavedra-Sanabria, O. L., Durán, D., Cabezas, J., Hernández, I., Blanco-Tirado, C., & Combariza, M. Y. (2021). Cellulose biosynthesis using simple sugars available in residual cacao mucilage exudate. *Carbohydrate Polymers*, 274, 118645.
- Sánchez Olaya, D. M., Rodríguez Pérez, W., Castro Rojas, D. F., & Trujillo Trujillo, E. (2019). Respuesta agronómica de mucilago de cacao (*Theobroma cacao* L.) en cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Ciencia En Desarrollo*, 10(2), 43–58.
- Santos Imbago, A. G. (2020). *Estudio de prefactibilidad de una planta de producción de un herbicida orgánico a partir del mucílago del cacao*. Quito.
- Schober, P., & Vetter, T. R. (2020). Analysis of variance in medical research. *Anesthesia & Analgesia*, 131(2), 508–509.
- Shieh, G., & Jan, S. (2004). The effectiveness of randomized complete block design. *Statistica Neerlandica*, 58(1), 111–124.
- Urgilés, J. (2018). Evaluación del efecto de herbicidas químicos y orgánicos para control de malezas en el cultivo de cacao CCN-51 (*Theobroma cacao* L.) en la zona de Naranjal, provincia del Guayas. [Tesis de Titulación]. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. Obtenido de <Http://Repositorio.Ucsg.Edu.Ec/Bitstream/3317/11463/1/T-UCSG-PRE-TEC-AGRO-142>. Pdf.
- Van Bruggen, A. H. C., He, M. M., Shin, K., Mai, V., Jeong, K. C., Finckh, M. R., & Morris Jr, J. G. (2018). Environmental and health effects of the herbicide glyphosate. *Science of the Total Environment*, 616, 255–268.