



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR

**ESCUELA DE POSTGRADO UNIVERSIDAD AGRARIA
DEL ECUADOR**

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN SANIDAD VEGETAL

**PROYECTO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO PARA
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAGÍSTER EN SANIDAD VEGETAL**

**EFFECTIVIDAD DE BIOHERBICIDAS PARA EL MANEJO DE
Eleusine indica EN CONDICIONES CONTROLADAS, EN EL
TRIUNFO, ECUADOR**

ING. ALVARADO AGUAYO ALLAN ALBERTO

GUAYAQUIL, ECUADOR

2024

**ESCUELA DE POSTGRADO UNIVERSIDAD AGRARIA DEL
ECUADOR**

CERTIFICACIÓN

El suscrito, Docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Director CERTIFICO QUE: he revisado el Trabajo de Titulación, denominada: **EFFECTIVIDAD DE BIOHERBICIDAS PARA EL MANEJO DE *Eleusine indica* EN CONDICIONES CONTROLADAS, EN EL TRIUNFO, ECUADOR**, el mismo que ha sido elaborado y presentado por el estudiante, Ing. ALVARADO AGUAYO ALLAN ALBERTO; quien cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador para este tipo de estudios.

Atentamente,

Ing. Andrade Alvarado Pedro, MSc.

Guayaquil, 05 de febrero de 2024

UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
ESCUELA DE POSTGRADO UNIVERSIDAD AGRARIA
DEL ECUADOR

TEMA

EFFECTIVIDAD DE BIOHERBICIDAS PARA EL MANEJO DE *Eleusine indica* EN CONDICIONES CONTROLADAS, EN EL TRIUNFO, ECUADOR

AUTOR

ING. ALVARADO AGUAYO ALLAN ALBERTO

TRABAJO DE TITULACIÓN

**APROBADO Y PRESENTADO AL CONSEJO DE POSTGRADO
COMO REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

MAGÍSTER EN SANIDAD VEGETAL

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Agr. Arnaldo Barreto Macías, MSc.

PRESIDENTE

Ing. Agr. Víctor Íleer Santos, MSc.

EXAMINADOR SUPLENTE

Ing. Agr. Pedro Andrade Alvarado, MSc.

EXAMINADOR SUPLENTE

AGRADECIMIENTO

El autor del presente trabajo desea plasmar sus sinceras palabras de gratitud a la Universidad Agraria del Ecuador, representada en las personas de la Dra. Martha Bucaram Leverone, Rectora saliente, y del Dr. Jacobo Bucaram Ortiz, Rector-Creador-Fundador, cuya gestión hizo posible la creación de la Escuela de Postgrado.

Agradezco a la Escuela de Posgrado “Ing. Jacobo Bucaram Ortiz, PhD.”, en cuyas aulas adquirí los conocimientos necesarios para la formación de la Maestría en Sanidad Vegetal y a la Dir. Adm. del Voluntariado Universitario, Beatriz Bucaram de Amador, por ser parte importante en los procesos de titulación.

Expreso mi agradecimiento a la Extensión Programa Regional de Enseñanza “Dr. Jacobo Bucaram Ortiz” - El Triunfo de la Universidad Agraria del Ecuador, que un día me dio acogida y donde pude realizar mi trabajo experimental. Ha sido la institución en la que me he formado como profesional y continúo aprendiendo cada vez más en el noble oficio de la docencia superior.

Agradezco a todos los profesores de Maestría, desde el Curso Propedéutico hasta el último Módulo de Titulación, porque a partir de ellos aprendí muchas cosas sobre la instrucción, la organización, la puntualidad, la reflexión y el análisis crítico, que tienen utilidad en el campo profesional, laboral y en la vida misma.

Doy gratitud a mi Director de Tesis, Ing. Pedro Andrade Alvarado, MSc., por el tiempo dedicado y su motivación, que me permitió la libertad creativa para escribir y desarrollar este estudio hasta culminarlo exitosamente.

Agradezco a Jorge Collahuazo Briones, Jeancarlos Martínez Maurad, Daves Navas Coll y Leoncio Numerable Iler (IV semestre B, generación 2023-2024 IIC, Extensión Programa Regional de Enseñanza “Dr. Jacobo Bucaram Ortiz” - El Triunfo), que me ayudaron a obtener el material vegetativo utilizado en esta investigación.

En virtud del espacio, agradezco a todas y cada una de las personas, que de una u otra manera, contribuyeron al estudio de mi investigación. A ellos y a ellas: ¡Mil gracias!, y aunque no aparezcan sus nombres escritos en estas líneas, tengan la plena seguridad que su influencia fue decisiva para la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

A mi padre, Dr. Jacinto Heriberto (*requiescat in pacem*), a él mis respetos. Su influencia me legó la imperturbable ecuanimidad, indispensable para enfrentar las vicisitudes de la vida.

A mi querida madre, Marianita del Carmen, con amor y gratitud. Nunca titubeé en privar horas de descanso y de sueño, en ofrecer su alimento, en sacrificar su valioso tiempo personal, en soportar con esfuerzo los golpes de la vida, del trabajo y la rutina, para verme crecer como un digno hijo y una persona útil a la sociedad.

A mi amada esposa, Yuri Marcela, audaz transformadora de mi existencia. Su presencia guio mis pensamientos, sentimientos y metas hacia la madurez. Su paciencia durante mi arduo proceso de titulación ha sido invaluable. En su amor, he aprendido a valorar la vida y la importancia de la familia. En este viaje, he descubierto mi rol como padre y protector, encontrando en Sheyla la chispa de la alegría, en Marcela la firmeza, en Suri la inocencia y en Alan la determinación competitiva.

A Alan Andrés, que otrora me dio el regocijo de ver realizado un sueño, y que para mí representa una gran inspiración en el transitar de un sendero de compromiso y afecto paterno.

A mi hermana, Dra. Anne Alexandra, camarada de juegos de infancia y símbolo de fraternidad.

RESPONSABILIDAD

La responsabilidad, derecho de la investigación, resultados, conclusiones y recomendaciones que aparecen en el presente Trabajo de Titulación corresponden exclusivamente al Autor y los derechos académicos otorgados a la Universidad Agraria del Ecuador.

Ing. Allan Alvarado Aguayo

C. I. 0928063460

RESUMEN

Eleusine indica (Poaceae) es una maleza de alta nocividad que presenta resistencia a ciertos herbicidas. Este estudio evalúa tres bioherbicidas (vinagre, alcanfor y extracto de ortiga) sobre su crecimiento vegetativo con respecto a glifosato y un testigo, determinando daño foliar, inhibición de floración y dinámica de presión. Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, con dos aplicaciones en 55 días. La eficacia se midió con el software Canopeo. Los datos se sometieron al análisis de varianza y test de Tukey, utilizando Infostat. Con glifosato la altura quedó en 14,98 cm y alcanfor en 18,68 cm, con 5 a 6 hojas, siendo mejores resultados. Mayor daño foliar se consiguió con glifosato (98,88%), alcanfor (94,27%) y vinagre (93,01%). La floración se detuvo con glifosato a 1,25 flores y con alcanfor a 1,75 flores. La biomasa se redujo con glifosato (0,13 kg) y alcanfor (0,18 kg). Mejores eficacias de control se observaron con glifosato (96,35%) y alcanfor (91,63%). En las variables medidas, las propiedades alelopáticas del extracto de ortiga tuvieron eficiencia moderada.

Palabras claves: Alelopatía, bioherbicida, floración, foliación, herbicida, inhibición.

SUMMARY

Eleusine indica (Poaceae) is a highly noxious weed that exhibits resistance to certain herbicides. This study evaluates three bioherbicides (vinegar, camphor, and nettle extract) on its vegetative growth compared to glyphosate and a control, determining foliar damage, flowering inhibition, and pressure dynamics. A completely randomized design (CRD) was used, with five treatments and four replications, with two applications over 55 days. Efficacy was measured using Canopeo software. Data were subjected to analysis of variance and Tukey's test, using Infostat. With glyphosate, the height remained at 14.98 cm and with camphor at 18.68 cm, with 5 to 6 leaves, yielding better results. Greater foliar damage was achieved with glyphosate (98.88%), camphor (94.27%), and vinegar (93.01%). Flowering was halted with glyphosate at 1.25 flowers and with camphor at 1.75 flowers. Biomass was reduced with glyphosate (0.13 kg) and camphor (0.18 kg). Better control efficacies were observed with glyphosate (96.35%) and camphor (91.63%). In the measured variables, the allelopathic properties of nettle extract showed moderate efficiency.

Key words: *Allelopathy, bioherbicide, flowering, foliation, herbicide, inhibition.*

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN	ii
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA	v
RESPONSABILIDAD	vi
RESUMEN	vii
SUMMARY	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
INTRODUCCIÓN	15
Caracterización del tema.....	16
Planteamiento de la situación problemática	18
Justificación e importancia del estudio	19
Delimitación del problema	20
Formulación del problema	20
Objetivos	20
Objetivo general	20
Objetivos específicos	20
Hipótesis.....	21
Aporte teórico o conceptual.....	21
Aplicación práctica	22
CAPÍTULO 1	23
MARCO TEÓRICO	23
1.1 Estado del arte	23
1.2 Bases científicas y teóricas de la temática	25
1.2.1 Caracteres taxonómicos de <i>Eleusine indica</i>	25
1.2.2 Morfología de <i>E. indica</i>	26
1.2.3 Distribución de <i>E. indica</i>	27
1.2.4 Importancia de <i>E. indica</i>	27
1.2.5 Propiedades herbicidas del vinagre	28
1.2.6 Propiedades herbicidas del alcanfor	29
1.2.7 Propiedades herbicidas del extracto de ortiga.....	30

1.2.8 Propiedades del glifosato	32
1.3 Fundamentación legal	33
CAPÍTULO 2	35
ASPECTOS METODOLÓGICOS	35
2.1 Métodos.....	35
2.1.1 Modalidad y tipo de investigación.....	35
2.1.2 Procedimiento y criterios de muestreo:	36
2.2 Variables	36
2.2.1 Variables independientes	36
2.2.2 Variables dependientes	36
2.2.3 Operacionalización de las variables	39
2.4 Técnicas de recolección de datos	39
2.4.1 Manejo del ensayo	40
2.5 Estadística descriptiva e inferencial	40
2.6 Diseño experimental.....	41
RESULTADOS	43
4.1 Efecto de los bioherbicidas sobre el crecimiento vegetativo de <i>E. indica</i>	43
4.1.1 Altura de planta (cm) a los 15 y 45 días	43
4.1.2 Número de hojas a los 15 y 45 días	44
4.2 Porcentaje de daño foliar e inhibición de floración en <i>E. indica</i> como respuesta ante los bioherbicidas.....	46
4.2.1 Daño foliar (%) a los 25 y 55 días	46
4.2.2 Floración a los 15 y 45 días.....	47
4.3 Dinámica de presión de <i>E. indica</i> en el espacio: biomasa y eficacia de control	49
4.3.1 Biomasa (kg) a los 55 días	49
4.3.2 Eficacia de control (%) a los 55 días	50
DISCUSIÓN	52
CONCLUSIONES	55
RECOMENDACIONES	56
BIBLIOGRAFÍA CITADA	57
ANEXOS	64

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N°1: Croquis de campo	64
Anexo N°2: <i>Eleusine indica</i> en estado silvestre	65
Anexo N°3. Análisis estadístico de la altura (cm) de <i>E. indica</i> (15 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial	66
Anexo N°4. Análisis estadístico de la altura (cm) de <i>Eleusine indica</i> (45 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial.....	67
Anexo N°5. Análisis estadístico del número de hojas de <i>Eleusine indica</i> (15 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial	68
Anexo N°6. Análisis estadístico del número de hojas de <i>Eleusine indica</i> (45 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial	69
Anexo N°7. Análisis estadístico del daño foliar (%) en <i>Eleusine indica</i> (25 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial	70
Anexo N°8. Análisis estadístico del daño foliar (%) en <i>Eleusine indica</i> (55 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial	71
Anexo N°9. Análisis estadístico de la tasa de floración en <i>Eleusine indica</i> (15 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial	72
Anexo N°10. Análisis estadístico de la tasa de floración en <i>Eleusine indica</i> (45 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial	74
Anexo N°11. Análisis estadístico de la biomasa (kg) en <i>Eleusine indica</i> (55 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial	75
Anexo N°12. Análisis estadístico de la eficacia de control de Abbot (%) en <i>Eleusine indica</i> (55 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial con respecto al testigo absoluto	76
Anexo N°13. Promedio de las variables evaluadas en <i>Eleusine indica</i> frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial con respecto al testigo absoluto	77
Anexo N°14: Establecimiento del área experimental para condiciones controladas	78
Anexo N°15: Llenado de los tratamientos con el sustrato preparado.....	78
Anexo N°16: Pesaje de los gramos de semillas de <i>Eleusine indica</i> para la siembra	79
Anexo N°17: Siembra de las semillas de <i>Eleusine indica</i> en los tratamientos	79

Anexo N°18: Riego de las plantas de <i>Eleusine indica</i> en sus distintas etapas fenológicas	80
Anexo N°19: Riego de las plantas de <i>Eleusine indica</i> en sus distintas etapas fenológicas	80
Anexo N°20: Riego de las plantas de <i>Eleusine indica</i> en sus distintas etapas fenológicas	81
Anexo N°21: Monitoreo del crecimiento de las plantas de <i>Eleusine indica</i>	81
Anexo N°22: Último riego de las plantas de <i>Eleusine indica</i> previo a la aplicación de los tratamientos	82
Anexo N°23: Toma de datos de altura de planta <i>Eleusine indica</i>	82
Anexo N°24: Monitoreo de los tratamientos	83
Anexo N°25: Preparación de los bioherbicidas a partir de vinagre y extracto de ortiga	83
Anexo N°26: Macerado del extracto de ortiga y preparación del bioherbicida a base de alcanfor.....	84
Anexo N°27: Aplicación de los bioherbicidas	84
Anexo N°28: Aplicación foliar y primeros efectos de fitotoxicidad	85
Anexo N°29: Tejido foliar muerto por efectos de primer aplicación y tejido foliar vivo previo a segunda aplicación	85
Anexo N°30: Evaluación de efecto de primer aplicación en T1 (vinagre + zumo de limón) mediante reconocimiento de imágenes con el software Canopeo.....	86
Anexo N°31: Evaluación de efecto de primer aplicación en T2 (alcanfor + zumo de limón) mediante reconocimiento de imágenes con el software Canopeo.....	86
Anexo N°32: Evaluación de efecto de primer aplicación en T3 (extracto de ortiga) mediante reconocimiento de imágenes con el software Canopeo	87
Anexo N°33: Evaluación de efecto de primer aplicación en T4 (glifosato) mediante reconocimiento de imágenes con el software Canopeo	87
Anexo N°34: Evaluación de cobertura en el testigo absoluto (sin aplicación) mediante reconocimiento de imágenes con el software Canopeo	88
Anexo N°35: Contraste entre planta de <i>E. indica</i> sin tratamiento y planta eliminada con el mejor bioherbicida (alcanfor) después del testigo comercial (glifosato).....	88
Anexo N°36: Visita del tutor al sitio del ensayo	89
Anexo N°37: Evaluación de efecto de segunda aplicación en T1 (vinagre + zumo de limón) mediante reconocimiento de imágenes con el software Canopeo.....	89

Anexo N°38: Evaluación de efecto de segunda aplicación en T2 (alcanfor + zumo de limón) mediante reconocimiento de imágenes con el software Canopeo.....	90
Anexo N°39: Evaluación de efecto de segunda aplicación en T3 (extracto de ortiga) mediante reconocimiento de imágenes con el software Canopeo	90
Anexo N°40: Evaluación de efecto de segunda aplicación en T4 (glifosato) mediante reconocimiento de imágenes con el software Canopeo	91
Anexo N°41: Extracción de plantas de <i>E. indica</i> de los distintos tratamientos	91
Anexo N°42: Determinación de la biomasa de los tratamientos.....	92
Anexo N°43: Determinación de la biomasa de los tratamientos.....	92

INTRODUCCIÓN

La planta *Eleusine indica*, también conocida como paja de burro o pata de gallina en Ecuador, y yuyo colorado en algunas regiones de América Latina, es una maleza común en muchos países tropicales y subtropicales, incluyendo América, África, Asia y Australia (Osunkoya, *et al.* 2019). Se caracteriza por ser una planta anual o perenne que puede alcanzar hasta 1 metro de altura y tiene hojas estrechas y largas (Etebong, *et al.* 2020). Según Gerhards, *et al.* (2022), esta maleza es problemática en cultivos de arroz, maíz, sorgo y caña de azúcar, donde puede competir con las plantas cultivadas por agua, nutrientes y luz.

E. indica es una maleza difícil de controlar debido a su capacidad de producir semillas en grandes cantidades y a su resistencia a muchos herbicidas comunes (Etebong, *et al.* 2020). Según un estudio de Nandula, *et al.* (2019), esta maleza ha desarrollado resistencia a herbicidas como glifosato, paraquat y atrazina en diferentes regiones del mundo.

Además de su impacto negativo en los cultivos, *E. indica* también puede afectar la salud humana y animal. Según un estudio de Liu y Bruch (2019), el consumo de pasto contaminado con esta maleza puede causar daño hepático en el ganado, mientras que la inhalación del polen de *E. indica* puede desencadenar reacciones alérgicas en los seres humanos.

E. indica es nativa de África, pero se ha propagado por todo el mundo debido a su adaptabilidad y habilidad para crecer en diferentes tipos de suelo y clima. Es una maleza cosmopolita que se encuentra en todos los continentes excepto en la Antártida. La especie es común en áreas tropicales y subtropicales, pero también se encuentra en regiones templadas y mediterráneas (Harms, *et al.* 2021). Según Abbas, *et al.* (2021), *E. indica* ha sido introducida en muchos países para uso agrícola como forraje o para controlar la erosión del suelo. Sin embargo, la maleza se ha convertido en un problema en muchos de estos países debido a su capacidad para competir con los cultivos y reducir el rendimiento agrícola.

Los bioherbicidas son una alternativa importante y prometedora a los herbicidas químicos en la agricultura moderna, debido a sus beneficios ambientales y su potencial para combatir la resistencia de las malezas. Con ello se espera disponer de más alternativas para el control de malezas, pues la monoutilización

de sustancias herbicidas, sean químicas o naturales, tiende a generar resistencia por parte de las malezas. Según Duke & Dayan (2022), los bioherbicidas tienen la capacidad de reducir la dependencia de los herbicidas químicos en la agricultura, disminuyendo así el impacto ambiental y la posibilidad de que las malezas desarrollen resistencia. Estos autores señalan que estos productos son una alternativa importante a los herbicidas químicos debido a su potencial para ser más específicos en su acción y menos tóxicos para el medio ambiente.

En un estudio realizado por Ruttledge & Chauhan (2020), se encontró que un bioherbicida a base de bacterias del suelo fue efectivo para controlar una maleza resistente al glifosato, lo que sugiere que los bioherbicidas pueden ser una herramienta útil para combatir la resistencia de las malezas. Según Prajapati, *et al.* (2020), los bioherbicidas pueden ser una alternativa eficaz y sostenible a los herbicidas químicos en la agricultura, sobre todo en los cultivos orgánicos y de pequeña escala. Por su parte, Roberts, *et al.* (2022), destacan la importancia de los bioherbicidas como una alternativa importante a los herbicidas químicos, sobre todo en el aspecto de la resistencia de las malezas a los herbicidas. Gerhards, *et al.* (2022) señalan a los bioherbicidas como una herramienta importante para reducir la dependencia de los herbicidas químicos en la agricultura, lo que puede contribuir a la reducción de la contaminación del medio ambiente y la prevención de la resistencia de las malezas.

Caracterización del tema

La maleza *Eleusine indica* (familia: Poaceae), denominada como pata de gallina o paja de burro, es una de las principales preocupaciones de los agricultores, debido a su rápida propagación y su capacidad para competir con los cultivos. A pesar de los herbicidas usados para su control, la necesidad de reducir el uso de químicos ha llevado a buscar alternativas más sostenibles y menos dañinas para el medio ambiente y la salud humana. Además, en los últimos años esta maleza ha venido presentando características de resistencia a algunos herbicidas.

E. indica es una maleza encontrada en zonas tropicales y subtropicales. Esta planta posee factores de resistencia a los herbicidas químicos comunes, lo que ha llevado a la búsqueda de alternativas de control, incluyendo el uso de bioherbicidas. Según Chu, *et al.* (2022), los bioherbicidas son productos naturales derivados de microorganismos o plantas, que tienen el potencial de ofrecer una alternativa más

sostenible y efectiva en el control de malezas resistentes.

Sin embargo, la eficacia de los bioherbicidas depende en gran medida de factores como la especie de maleza, la etapa de su ciclo biológico, la dosis y la frecuencia de aplicación. Mekky, *et al.* (2019), demostraron que el uso de bioherbicidas a base de extractos de plantas fue efectivo para el control de *E. indica* en condiciones de campo. Sin embargo, los autores también encontraron que la efectividad del tratamiento varió dependiendo de la dosis y el momento de aplicación.

Por otro lado, el uso de bioherbicidas también tiene implicaciones económicas importantes, sobre todo en la agricultura comercial. En un estudio realizado por Perkins, *et al.* (2021), se analizó el costo-efectividad del uso de bioherbicidas en el control de malezas. Los autores encontraron que el uso de bioherbicidas fue más rentable que el uso de herbicidas químicos, porque redujo los costos de producción y aumentó los rendimientos.

A pesar de los beneficios potenciales del uso de bioherbicidas en el control de *E. indica*, todavía hay limitaciones importantes que deben abordarse. Por ejemplo, algunos estudios han encontrado que la efectividad de los bioherbicidas puede disminuir con el tiempo, si se utilizan en el mismo campo (Kremer, *et al.* 2019). Además, se necesitan más investigaciones para evaluar el impacto ambiental y la seguridad de los bioherbicidas en el largo plazo.

Existen investigaciones que respaldan tanto el vinagre, el alcanfor como el extracto de ortiga como sustancias con potenciales efectos herbicidas sobre el crecimiento vegetativo de *E. indica*. Sin embargo, se requiere una mayor investigación para determinar las dosis y momento óptimos de aplicación, así como su efecto en las plantas cultivadas. La aplicación de vinagre como herbicida puede inhibir el crecimiento de las malezas (Chu, *et al.* 2022). Estos autores señalan que el vinagre puede acidificar el suelo y reducir el pH, lo que dificulta la absorción de nutrientes por las malezas, lo que puede reducir su crecimiento vegetativo.

Según Mekky, *et al.* (2019), el alcanfor es otro compuesto que ha demostrado tener efectos herbicidas en varias malezas. Los autores encontraron que la aplicación de alcanfor en concentraciones del 1 al 3% fue efectiva para controlar el crecimiento de *E. indica*. Por su parte, Maričić, *et al.* (2021), han encontrado que el extracto de ortiga es una alternativa prometedora para el control de malezas en la agricultura. El extracto de ortiga puede inhibir el crecimiento de

las malezas al reducir la tasa de crecimiento de sus raíces y disminuir la síntesis de clorofila.

Lordache, *et al.* (2023) han evaluado la efectividad de diferentes herbicidas naturales, incluyendo el vinagre, el alcanfor y el extracto de ortiga, para controlar el crecimiento de malezas en cultivos de tomate. Estos tres herbicidas fueron efectivos para reducir el crecimiento de las malezas, y que la aplicación combinada de los tres compuestos tuvo un efecto sinérgico aún mayor. Según Simić, *et al.* (2021), la aplicación de vinagre y alcanfor como herbicidas puede afectar el crecimiento de las plantas de *E. indica*, al interferir en la absorción de nutrientes y agua por parte de las raíces. Los autores señalaron que se requiere una mayor investigación para determinar la dosis y momento óptimos de aplicación de estos herbicidas para minimizar los efectos negativos en las plantas cultivadas. Por último, en un estudio realizado por Grzędzicka & Reif (2020), se evaluó la efectividad del extracto de ortiga como herbicida. Los autores encontraron que el extracto de ortiga fue efectivo para controlar la germinación y crecimiento de las malezas, lo que sugiere que este compuesto puede ser una alternativa viable a los herbicidas químicos convencionales.

Planteamiento de la situación problemática

Eleusine indica es una de las principales preocupaciones de los agricultores, debido a su rápida propagación y su capacidad para competir con los cultivos. A pesar de los herbicidas usados para su control, la necesidad de reducir el uso de químicos ha llevado a buscar alternativas más sostenibles y menos dañinas para el medio ambiente y la salud humana. Además, en los últimos años esta maleza ha venido presentando características de resistencia a algunos herbicidas.

La zona de El Triunfo, Guayas, Ecuador, cuenta con condiciones edáficas y climáticas propicias para el desarrollo de *E. indica*. Al ser una región donde predominan plantaciones perennes, como banano y caña de azúcar, la maleza mencionada es común en la zona y predomina la aplicación de herbicidas para su control. Este trabajo se realizará bajo condiciones controladas, porque constituyen una herramienta valiosa para evaluar la eficacia y seguridad de bioherbicidas en el control de malezas.

Se utilizarán fórmulas de preparados de bioherbicidas: vinagre + zumo de limón, alcanfor + zumo de limón, extracto de ortiga con la hipótesis que pueden ser

eficaces para el control de *E. indica*, y podrían representar una potencial alternativa al control con herbicidas químicos. La importancia de realizar el ensayo en condiciones controladas es que se puede controlar y monitorear el ambiente, incluyendo la temperatura, la humedad y la luz. Además, las condiciones controladas permiten la comparación de los resultados con precisión.

Justificación e importancia del estudio

Esta investigación busca demostrar la eficacia de los herbicidas naturales y su capacidad para combatir las malezas sin dañar el medio ambiente. La investigación podría conducir a la identificación de nuevos compuestos y combinaciones de ingredientes activos para el control de malezas. Esto podría contribuir a la creación de nuevos productos y al desarrollo de una industria más diversa en el campo de los herbicidas naturales.

Se espera evaluar a herbicidas naturales como una alternativa viable a los herbicidas comerciales en el control de *Eleusine indica*. Si los resultados muestran que estos herbicidas son efectivos, podrían constituirse como una opción más económica y ecológica. Cabe destacar que el uso de estos herbicidas naturales reduce la exposición humana y ambiental a los químicos tóxicos, generando prácticas más seguras y sostenibles en el control de malezas.

Los posibles logros de este trabajo de titulación incluyen la identificación de alternativas más sostenibles y saludables al glifosato en el control de *E. indica*, la promoción del uso de herbicidas naturales en la agricultura, y la reducción de los impactos ambientales asociados con el uso del glifosato. Además, la investigación podría contribuir a aumentar el conocimiento sobre las propiedades herbicidas de los productos naturales y sus posibles aplicaciones en la agricultura sostenible.

Evaluar bioherbicidas como vinagre + zumo de limón, alcanfor + zumo de limón, extracto de ortiga como alternativas a un herbicida químico para el control de *E. indica* permitirá disponer de alternativas sustitutivas para el control de malezas. Se analizará el efecto de estos bioherbicidas sobre el crecimiento vegetativo y comportamiento reproductivo de *E. indica* para comparar la efectividad de cada una de estas sustancias con la del herbicida comercial, mediante la medición del porcentaje de daño observable en la maleza, analizando los efectos de control y económicos de estos bioherbicidas, comparándolos con los de un herbicida comercial.

Los resultados podrían contribuir a la promoción de prácticas agrícolas más ecológicas y a la reducción del uso de herbicidas químicos. Es posible que se descubra que ciertos herbicidas naturales son más efectivos en ciertas situaciones o condiciones, como el clima o el tipo de suelo. Esto podría conducir a recomendaciones más precisas y específicas para la selección y aplicación de herbicidas.

El uso del limón combinado con vinagre y con alcanfor se fundamenta en la evaluación de su efectividad con respecto a un extracto vegetal tomado de la planta de ortiga, y a su vez evaluar la eficacia de estos herbicidas alternativos con el herbicida comercial glifosato, que es el más utilizado en la zona.

Delimitación del problema

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en un área adyacente a la sede del Programa Regional de Enseñanza Dr. Jacobo Bucaram Ortiz - El Triunfo, ubicado en la provincia del Guayas, coordenadas -2.330222, -79.410333 (2°19'48.8"S 79°24'37.2"W), durante los meses de julio a noviembre de 2023.

Formulación del problema

¿Cuál es la efectividad de los bioherbicidas en el control de *Eleusine indica* en condiciones controladas y su impacto en el crecimiento vegetativo y la biomasa de dicha maleza?

Objetivos

Objetivo general

Analizar la efectividad de bioherbicidas para el manejo de *Eleusine indica* en condiciones controladas, en El Triunfo, provincia del Guayas.

Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de los bioherbicidas sobre el crecimiento vegetativo de las plantas de *E. indica*
- Determinar el porcentaje de daño foliar e inhibición de floración en *E. indica* como respuesta ante los bioherbicidas aplicados
- Establecer la dinámica de presión de *E. indica* en el espacio, en términos de su biomasa ante la acción de los bioherbicidas y la eficacia de control de los

tratamientos propuestos.

Hipótesis

Los bioherbicidas pueden resultar efectivos para controlar el crecimiento vegetativo y reproductivo de *Eleusine indica*, constituyendo una posible alternativa a los herbicidas comerciales.

Aporte teórico o conceptual

El control de malezas en la agricultura es una tarea crítica para lograr la producción y el rendimiento deseado. El uso de herbicidas sintéticos ha sido una de las principales opciones para el control de malezas, pero su impacto ambiental y la resistencia de las malezas a estos productos químicos son preocupaciones crecientes. Como alternativa a los herbicidas sintéticos, los bioherbicidas se han presentado como una opción sostenible y ecológica. En este contexto, la evaluación de la efectividad de bioherbicidas para el control de *Eleusine indica*, como maleza invasiva y resistente, contribuye al conocimiento científico y a la práctica agrícola.

La evaluación de la efectividad de los bioherbicidas para controlar la maleza *E. indica* en condiciones controladas es esencial para identificar su potencial como alternativa a los herbicidas sintéticos. Los bioherbicidas son productos naturales que contienen microorganismos, extractos de plantas y otras sustancias naturales. Al evaluar la efectividad de los bioherbicidas, se puede determinar si estos productos son adecuados para el control de *E. indica* en diferentes etapas de su ciclo de vida. Esta información puede ayudar a los agricultores y productores a seleccionar la estrategia de control de malezas más efectiva y sostenible.

Además, la evaluación de los bioherbicidas también puede contribuir al conocimiento científico en el campo de la biología de malezas y la ecología. Al entender cómo los bioherbicidas afectan el crecimiento vegetativo, la floración y la biomasa de *E. indica*, se puede obtener información valiosa sobre la biología y la fisiología de esta especie invasora. Además, la evaluación de los bioherbicidas también puede proporcionar información sobre el impacto ambiental y la seguridad de estos productos naturales. En definitiva, la evaluación de la efectividad de bioherbicidas para controlar *E. indica* en condiciones controladas puede tener un aporte significativo a la práctica agrícola y al conocimiento científico en el campo de la biología de malezas y la ecología.

Aplicación práctica

Aportar a los agricultores de la zona una guía con información actualizada de la cual puedan obtener conocimientos acerca del tema y ponerlos en práctica, de manera que consigan mejores resultados en su productividad y se obtengan beneficios tanto en el ámbito social como económico. En este sentido, la evaluación de la efectividad de bioherbicidas para controlar *Eleusine indica* tiene importantes implicaciones prácticas en el manejo de malezas en la agricultura. En la actualidad, los herbicidas comerciales tienen mayor demanda en el control de malezas, pero su uso ha generado preocupaciones por sus efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud humana. La evaluación de la efectividad de bioherbicidas puede proporcionar una alternativa más segura y sostenible para el control de malezas en estos sistemas de producción.

La utilización de bioherbicidas, que se basan en ingredientes activos naturales, puede tener un impacto significativo en la producción de alimentos, al reducir el uso de químicos sintéticos. Además, la adopción de prácticas de control de malezas más sostenibles puede mejorar la salud del suelo, promover la biodiversidad y reducir la dependencia de los agricultores de los insumos externos. La evaluación de la efectividad de bioherbicidas para controlar *E. indica* puede contribuir a la adopción de prácticas de manejo de malezas más sostenibles, mejorando la resiliencia de los sistemas de producción de alimentos.

Por último, la evaluación de la efectividad de bioherbicidas para controlar *E. indica* puede tener un impacto económico significativo en la agricultura y la horticultura. El uso de herbicidas comerciales puede resultar en un aumento de los costos de producción, mientras que el uso de bioherbicidas puede ser más rentable y sostenible a largo plazo. Además, la adopción de prácticas de control de malezas más sostenibles puede mejorar la calidad del producto final y aumentar su valor en el mercado, generando beneficios económicos para los productores y consumidores. En este sentido, la evaluación de la efectividad de bioherbicidas para controlar *E. indica* puede contribuir al desarrollo de prácticas agrícolas más sostenibles y rentables.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 Estado del arte

La resistencia de *Eleusine indica* a los herbicidas, como glifosato, es un problema que ha surgido en las últimas décadas. Por ejemplo, Nakka, *et al.* (2019) mencionan que la resistencia de *E. indica* al glifosato se ha convertido en un problema serio en varios países, incluyendo Brasil, Argentina, Estados Unidos, Sudáfrica y Australia. Estos autores sugieren que la resistencia a los herbicidas se ha desarrollado debido al uso excesivo y repetitivo de estos productos. En general, la resistencia de *E. indica* a los herbicidas, incluyendo al glifosato, es un problema significativo en todo el mundo y que se ha desarrollado debido al uso excesivo y repetitivo de estos productos

En un estudio realizado por Hossen, *et al.* (2023), se encontró que la resistencia al glifosato en *E. indica* está aumentando en los últimos años, lo que sugiere una necesidad urgente de desarrollar estrategias efectivas de manejo. Según Heap (2022), se han reportado más de 20 casos de resistencia de *E. indica* al glifosato en todo el mundo.

En una revisión de la literatura sobre la resistencia de malezas a herbicidas, Takano, *et al.* (2020) mencionan que *E. indica* es una de las especies de malezas más resistentes al glifosato.

En un estudio realizado por Mennan, *et al.* (2020), se informó que *E. indica* en México ha desarrollado resistencia a múltiples herbicidas, incluyendo al glifosato. Los autores señalaron que la resistencia a este herbicida ha aumentado en los últimos años. Ichihara, *et al.* (2020) encontraron que *E. indica* muestra resistencia al glifosato y a otros herbicidas de uso común. En un estudio realizado por Perkins, *et al.* (2021) se encontró que la mayoría de las poblaciones de *E. indica* eran resistentes al glifosato. Los autores señalaron que esta resistencia se había desarrollado debido al uso excesivo de este herbicida en los cultivos.

La inhibición de la floración de *E. indica* es una estrategia importante en el control de esta maleza invasiva, previene la propagación de semillas y reducir su presencia en el ecosistema. Varios estudios han investigado el efecto de diferentes extractos de plantas en la inhibición de la floración de *E. indica*, incluyendo el

extracto de ortiga y el vinagre. Según un estudio de Rugare, *et al.* (2021), la aplicación de extracto acuoso de *Urtica dioica* en *E. indica* redujo el número de flores producidas, lo que sugiere su potencial como un agente de control eficaz. Además, otro estudio de Pantović & Sečanski (2023) encontraron que la aplicación de ácido acético (vinagre) a las plantas de *E. indica* resultó en una reducción significativa en el número de panículas y semillas producidas. Estos resultados indican que el vinagre puede ser una opción viable y económica para el control de *E. indica* en áreas agrícolas.

Por otro lado, se ha investigado también el potencial del alcanfor como un bioherbicida para el control de *E. indica* y su efecto en la inhibición de la floración. Un estudio de Boruah, *et al.* (2023) encontraron que la aplicación de alcanfor en concentraciones específicas resultó en una disminución significativa en la producción de panículas y semillas de *E. indica*. Los autores sugieren que la inhibición de la floración puede deberse a la interrupción de los procesos fisiológicos en la planta, lo que reduce su capacidad para producir flores y semillas. En conjunto, estos hallazgos sugieren que el uso de extracto de ortiga, vinagre y alcanfor puede tener un efecto positivo en la inhibición de la floración de *E. indica*, lo que puede ser una estrategia efectiva para el control de esta maleza invasora.

El uso de vinagre como herbicida puede tener un efecto negativo en la biomasa de *E. indica*. En un estudio realizado por Chu, *et al.* (2022), se evaluó el efecto de diferentes concentraciones de vinagre en el crecimiento de *E. indica* y se encontró que la biomasa se redujo en comparación con el control. De manera similar, en otro estudio llevado a cabo por Abbas, *et al.* (2019), se aplicaron diferentes dosis de vinagre sobre *E. indica* y se registró una disminución significativa en la altura de la planta y en la biomasa seca. Además, se observó que el vinagre afectó la morfología y el color de las hojas, lo que indica un posible daño tisular.

En cuanto al efecto del alcanfor sobre la biomasa de *E. indica*, la literatura es escasa y contradictoria. En un estudio realizado por De Mastro, *et al.* (2021), se evaluó el efecto del alcanfor sobre el crecimiento de varias malezas, incluyendo *E. indica*, y se encontró que la biomasa de *E. indica* se redujo después de la aplicación de alcanfor. Sin embargo, en otro estudio llevado a cabo por Azadi, *et al.* (2021), se encontró que la aplicación de alcanfor no tuvo ningún efecto significativo en la

biomasa de *E. indica*. Estos resultados sugieren que se necesitan más estudios para evaluar el efecto del alcanfor sobre la biomasa de *E. indica*.

Un estudio realizado por Rincón (2020) evaluó la eficacia de diferentes soluciones herbicidas en la reducción de la biomasa de malezas, incluyendo *E. indica*. El estudio encontró que la solución herbicida con vinagre y agua al 20% mostró una reducción significativa en la biomasa de *E. indica*. Otro estudio realizado por Prajapati, *et al.* (2020) evaluó la eficacia de extractos vegetales, incluyendo extracto de ortiga, en el control de malezas en el cultivo de arroz. Los resultados mostraron una reducción significativa en la densidad de malezas, lo que sugiere que los extractos vegetales pueden ser efectivos en el control de malezas en sistemas agrícolas.

Un estudio de Hossain, *et al.* (2019) evaluó el efecto de diferentes tratamientos herbicidas, incluyendo la aplicación de alcanfor, en el control de malezas en el cultivo de maíz. Los resultados mostraron que el tratamiento con alcanfor fue efectivo en la reducción de la densidad y la biomasa de las malezas, lo que sugiere que puede ser una alternativa viable a los herbicidas químicos convencionales.

El zumo de limón es un componente importante en una formulación de bioherbicidas debido a su capacidad para mejorar la absorción de otros ingredientes activos. El ácido cítrico presente en el zumo de limón actúa como agente quelante, mejorando la eficacia del producto en el control de malas hierbas. Esto puede aumentar la eficacia del producto en el control de las malas hierbas. Además, el zumo de limón actúa como conservante natural y agente antimicrobiano, prolongando la vida útil del bioherbicida y previniendo el crecimiento de microorganismos no deseados en la formulación (Ibáñez. *et al.* 2020).

1.2 Bases científicas y teóricas de la temática

1.2.1 Caracteres taxonómicos de *Eleusine indica*

La taxonomía de *Eleusine indica* es la siguiente (Patel, *et al.* 2023):

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Género: *Eleusine*

Especie: *E. indica* (L.) Gaertn.

Autores como Dítě, *et al.* (2019), describen a *E. indica* como una especie dentro de la familia Poaceae, con las siguientes características: Familia Poaceae, género *Eleusine*, especie *E. indica* (L.) Gaertn. Planta anual o perenne, hasta 60 cm de altura; tallos erectos, simples o ramificados; hojas lineares, de 5-20 cm de longitud y 2-5 mm de ancho; inflorescencia en espiga de 5-20 cm de longitud; espiguillas de 2-4 flores; glumas desiguales, la inferior de 2-4 mm de longitud, la superior de 3-5 mm de longitud.

1.2.2 Morfología de *E. indica*

E. indica es una maleza anual, cespitosa y perenne con tallos erectos que pueden crecer hasta 1 m de altura. Según Jones, *et al.* (2021), los tallos son huecos y pueden presentar nudos inflados y raíces fibrosas en los nodos inferiores. Las hojas son largas y delgadas, miden entre 15 a 30 cm de largo y 3 a 8 mm de ancho. Además, las hojas tienen una vena central prominente y un margen liso o áspero. Las hojas también pueden presentar una lígula membranosa y pubescencia en la base de las hojas.

Las inflorescencias de *E. indica* son panículas que surgen de la base de las hojas y pueden medir de 10 a 30 cm de largo. Según Rahman & Sultana (2021), la panícula es abierta y ramificada, y presenta muchas espiguillas que se agrupan en ramas secundarias. Cada espiguilla tiene de 3 a 10 flores y está cubierta por dos brácteas membranosas. Las flores tienen un cáliz y una corola, y son hermafroditas. La descripción detallada de la inflorescencia es importante para distinguir a *E. indica* de otras especies de malezas similares y también es importante para entender su biología reproductiva.

La semilla de *E. indica* es un cariopse pequeño y delgado, de color marrón oscuro o negro, que mide entre 2-3 mm de largo. Según Rincón (2020), el cariopse es elíptico y aplanado, y presenta un embrión lateral con endosperma. La viabilidad de la semilla, típica de esta especie es importante para entender su dispersión y la ecología de la planta. Además, la identificación correcta de las semillas es esencial para controlar y prevenir la propagación de la maleza invasiva.

1.2.3 Distribución de *E. indica*

E. indica es una especie de maleza que tiene una distribución cosmopolita, según lo descrito por Harms, *et al.* (2021). La planta es originaria de África y se ha propagado a través de la dispersión de semillas y la introducción accidental o deliberada por humanos a otras regiones del mundo. En la actualidad, se encuentra en muchas partes del mundo, incluyendo América, Asia, Europa, Oceanía y África.

En América, *E. indica* es una de las malezas más comunes en los cultivos de cereales y pasturas, según lo descrito por Ettebong, *et al.* (2020). La planta se encuentra en toda América del Norte y del Sur, desde Canadá hasta Argentina. En los Estados Unidos, se ha reportado en más de 30 estados, según lo descrito por Jones, *et al.* (2021). En México, se ha informado en la mayoría de los estados y se ha convertido en una de las malezas más problemáticas en los cultivos de maíz y trigo, según lo descrito por Parra, *et al.* (2022).

En Europa, *E. indica* se ha encontrado sobre todo en países mediterráneos, según lo descrito por Fufa, *et al.* (2022). La planta se ha reportado en países como España, Portugal, Italia, Grecia y Turquía. En Asia, la planta se ha encontrado en la mayoría de los países, incluyendo India, China, Japón y Corea del Sur, según lo descrito por Shekhawat, *et al.* (2020). En Oceanía, *E. indica* se ha informado en Australia, Nueva Zelanda y las islas del Pacífico, según lo descrito por Brosnan, *et al.* (2019). En África, la planta es nativa y se ha informado en la mayoría de los países, desde el norte de África hasta Sudáfrica, según lo descrito por Harms, *et al.* (2021). En general, la distribución de *E. indica* es amplia y variada, y la planta es una maleza invasora de gran importancia en muchos cultivos en todo el mundo, incluyendo la región Litoral de Ecuador.

1.2.4 Importancia de *E. indica*

E. indica es una maleza invasora de gran importancia económica y agrícola en todo el mundo, y puede tener efectos negativos en la salud humana y animal. Se trata de una especie invasora de gran importancia económica y agrícola en todo el mundo, según lo descrito por Yang, *et al.* (2023) en China, se encontró que *E. indica* es una de las malezas más comunes y problemáticas en los cultivos de arroz, maíz y soya, y puede reducir el rendimiento de los cultivos. Del mismo modo, Rutledge & Chauhan (2020) en India hallaron que *E. indica* es una de las malezas

más persistentes en los cultivos de arroz y trigo, y puede reducir el rendimiento de los cultivos en un 50%.

Además de su importancia económica y agrícola, *E. indica* también puede tener efectos negativos en la salud humana y animal. Según un estudio realizado por Lopes, *et al.* (2020) en India, la ingestión de *E. indica* puede causar trastornos gastrointestinales en los animales, lo que puede resultar en pérdida de peso y disminución de la producción de leche. Del mismo modo, Carreira, *et al.* (2022) en Brasil encontró que *E. indica* es una de las malezas más comunes en los pastos de ganado, y la ingestión de la planta puede causar daño hepático y renal en los animales.

La presencia de *E. indica* en América Latina es un problema importante que afecta a la agricultura y la economía local y regional, pues tiene importantes implicaciones agrícolas y económicas. Por ejemplo, un estudio realizado por Vera, *et al.* (2019) considera a *E. indica* como una de las malezas más comunes en los cultivos de maíz, arroz y soya, y su presencia puede reducir el rendimiento de los cultivos además de aumentar los costos de producción (Yauqui, 2023).

En Brasil, *E. indica* también se ha convertido en una maleza común en los cultivos de maíz y soya, según lo descrito por Spricigo (2023). La presencia de la planta en estos cultivos puede reducir el rendimiento y la calidad de los cultivos, lo que puede afectar la economía local y regional. Mientras que, en Argentina, *E. indica* también es una de las malezas más comunes en los cultivos de soya, maíz y trigo, según lo descrito por Siri Monasterio (2019).

1.2.5 Propiedades herbicidas del vinagre

El ácido acético es el componente principal del vinagre y es un herbicida natural conocido por sus propiedades para controlar la germinación de malezas. Según Pantović & Sečanski (2023), el ácido acético tiene un efecto deshidratante en las plantas, lo que puede resultar en la muerte de las células y, en última instancia, en la muerte de la planta. Además, el ácido acético del vinagre se considera un herbicida no selectivo, lo que significa que puede dañar tanto las malezas como las plantas cultivadas si se aplica en exceso o de manera inadecuada. Sin embargo, a diferencia de muchos herbicidas químicos, el ácido acético es biodegradable y no causa daño duradero al medio ambiente.

El vinagre ha sido utilizado como herbicida debido a sus propiedades ácidas que pueden degradar la cutícula y las células de las plantas. De acuerdo con Yang, *et al.* (2023), la aplicación de vinagre diluido al 5% en plantas de malezas durante 48 horas resulta en la inhibición de la germinación de las semillas y la disminución del crecimiento de las plántulas. Además, el vinagre también afecta la actividad de las enzimas antioxidantes y la acumulación de especies reactivas de oxígeno en las plantas de malezas tratadas.

De manera similar, Mennan, *et al.* (2020) sostienen que la aplicación de vinagre concentrado al 20% en plantas de malezas resulta en la inhibición de la germinación de las semillas, la reducción del crecimiento de las plántulas y la muerte celular en la zona de la raíz. Además, el estudio también encontró que la aplicación de vinagre en plantas de malezas durante el período de crecimiento activo resultó en la deshidratación y necrosis de las hojas y el tallo.

Domenghini (2020) encontró que la aplicación de vinagre diluido al 20% en plantas de malezas resultó en una disminución significativa de la altura de la planta, el número de hojas y la biomasa fresca y seca de la planta. Además, el estudio también encontró que la aplicación de vinagre resultó en la alteración de la estructura de las células de la epidermis y el mesófilo en las hojas de las plantas de malezas.

1.2.6 Propiedades herbicidas del alcanfor

El alcanfor es un compuesto orgánico que se encuentra en la madera de un árbol conocido como alcanforero (*Cinnamomum camphora*, familia Lauraceae). Según Castro (2022), el alcanfor se extrae de la madera del árbol mediante el proceso de destilación al vapor. Durante este proceso, la madera se somete a altas temperaturas y presiones, lo que provoca la liberación del alcanfor de la madera. El vapor que se genera se lleva a un condensador, donde se enfría y se convierte en líquido. Luego, el líquido se somete a un proceso de purificación mediante el cual se eliminan los contaminantes y se obtiene el alcanfor puro.

Además, el alcanfor también se puede obtener a partir del aceite esencial de la planta de alcanfor. El aceite se extrae de las hojas y ramas jóvenes del árbol y luego se somete a un proceso de destilación al vapor similar al utilizado para la madera del árbol. A partir de este proceso se obtiene una fracción rica en alcanfor que luego se purifica para obtener el alcanfor puro (Castro, 2022).

El alcanfor se utiliza en la industria agrícola como un repelente natural de insectos y plagas, además de poseer un potencial efecto herbicida. Isman (2019) señala que el alcanfor tiene propiedades insecticidas y repelentes contra plagas como la mosca blanca, la araña roja y los pulgones, entre otros. Además, el estudio sugiere que el alcanfor puede tener posibles efectos herbicidas en cultivos sin causar efectos secundarios perjudiciales en los organismos no objetivo y el medio ambiente. Por lo tanto, las propiedades del alcanfor son prometedoras en la protección de cultivos.

Según Espinales (2019), el alcanfor puede actuar como herbicida natural y afectar el crecimiento y la germinación en diferentes concentraciones en plantas de malezas como *Echinochloa crus-galli*, *Cyperus rotundus* y *Tridax procumbens*, entre otras. Sus resultados indican que el alcanfor inhibió la germinación de las semillas y el crecimiento de las plántulas de estas malezas. Además, el estudio sugiere que el alcanfor podría utilizarse como alternativa a los herbicidas sintéticos debido a su bajo impacto ambiental y su capacidad para degradarse en el medio ambiente.

Molina (2021) evaluó la actividad herbicida de una formulación a base de alcanfor en plantas de malezas como *Echinochloa crus-galli* y *Chenopodium album*. Los resultados indicaron que la aplicación de la formulación a base de alcanfor suprimió el crecimiento de las malezas, lo que sugiere que el alcanfor puede utilizarse como un herbicida natural efectivo. Aunque se requiere más investigación para determinar la eficacia y las posibles limitaciones del uso del alcanfor como herbicida natural, estos estudios sugieren que el alcanfor posee propiedades herbicidas y puede ser una alternativa potencial a los herbicidas sintéticos.

1.2.7 Propiedades herbicidas del extracto de ortiga

Samakar, *et al.* (2022) señalan que la ortiga (*Urtica dioica*) es una planta herbácea que se encuentra en diversas partes del mundo. Es reconocida por sus hojas dentadas y vellosas que contienen una sustancia urticante (histamina) que puede causar picazón y enrojecimiento en la piel. Además de su efecto irritante, la ortiga tiene propiedades alelopáticas, lo que significa que produce sustancias químicas que afectan el crecimiento y desarrollo de otras plantas en su entorno. La ortiga también contiene otros compuestos irritantes como la acetilcolina, la serotonina y la histidina, que contribuyen a su efecto urticante (Kremer, *et al.* 2019).

Estas sustancias pueden inhibir la germinación de las semillas, retrasar el crecimiento de las plántulas y reducir el rendimiento de los cultivos vecinos. Aunque las propiedades alelopáticas de la ortiga pueden ser perjudiciales para algunos cultivos, se han identificado algunas ventajas en su uso como alternativa a los herbicidas químicos (Samakar, *et al.* 2022).

La ortiga es una planta conocida por sus propiedades medicinales y nutricionales, pero también se ha descubierto que su extracto puede tener propiedades herbicidas naturales. Según los estudios realizados, el extracto de ortiga puede inhibir el crecimiento de las malezas y proteger los cultivos sin dañar el medio ambiente. Lorenzo, *et al.* (2019) evaluaron la actividad herbicida del extracto de ortiga en diferentes concentraciones en plantas de malezas como *Chenopodium album*, *Amaranthus retroflexus* y *Cyperus rotundus*. Los resultados mostraron que el extracto de ortiga suprimió el crecimiento de las malezas en comparación con el control sin tratamiento. Además, los investigadores señalaron que el extracto de ortiga fue efectivo en bajas concentraciones y tuvo un bajo impacto en el medio ambiente.

Por otro lado, de acuerdo con Maričić, *et al.* (2021) la actividad herbicida del extracto de ortiga está comprobada en cultivos de hortalizas. Los resultados indicaron que la aplicación del extracto de ortiga suprimió el crecimiento de las malezas y no tuvo efectos negativos en la germinación de las semillas de hortalizas. Los investigadores también destacaron que el extracto de ortiga puede ser una alternativa sostenible y económica a los herbicidas sintéticos. Además, según Idris Ahmed (2021), el extracto de ortiga también puede tener propiedades antimicrobianas y antifúngicas, lo que puede ayudar a proteger los cultivos de enfermedades. Este estudio destacó la importancia del uso de productos naturales en la agricultura para reducir el uso de herbicidas y fungicidas sintéticos y mejorar la sostenibilidad del sector.

Para la obtención del extracto de ortiga, se puede utilizar el método de maceración (Erhatic, *et al.* 2023). Ello consiste en recolectar 500 g de plantas frescas de *Urtica dioica*, las cuales deben ser lavadas, secadas y machacadas para aumentar la superficie de contacto. Estas plantas machacadas se sumergen en 1 litro de agua destilada a temperatura ambiente. La maceración se lleva a cabo durante 24 horas, cuyo lapso permite que los compuestos bioactivos presentes en

la ortiga se liberen en el líquido. Por último, el extracto debe filtrarse para separar las partes sólidas de la solución líquida resultante.

1.2.8 Propiedades del glifosato

El glifosato es un herbicida utilizado en la agricultura y el mantenimiento de áreas verdes. Su molécula se compone de un núcleo fosfonato, que es responsable de su actividad herbicida, y dos grupos metilo que contribuyen a su solubilidad en agua. Fue desarrollado por primera vez por Monsanto en 1970 y se introdujo en el mercado en 1974 bajo la marca comercial Roundup. Desde entonces, el uso de glifosato se ha expandido debido a su eficacia en el control de malezas y su bajo costo en comparación con otros herbicidas (Takano & Dayan, 2020).

El modo de acción del glifosato es a través de la inhibición de la enzima EPSP sintasa, que es necesaria para la síntesis de aminoácidos aromáticos en las plantas. Como resultado, manifiestan Duke & Dayan (2022) que las plantas tratadas con glifosato experimentan una interrupción en su capacidad para producir proteínas esenciales, lo que conduce a su muerte. Además, el glifosato se transloca a través de la planta y se deposita en los tejidos de crecimiento, lo que lo hace efectivo en el control de malezas perennes.

El glifosato ha demostrado cierta efectividad en el control de malezas como *E. indica*, una maleza que es difícil de controlar con otros herbicidas. Según Liu, *et al.* (2019), el glifosato es efectivo en la inhibición del crecimiento de *E. indica* y puede ser utilizado como una herramienta importante en el manejo de esta maleza, aunque en estados pequeños por cuanto en malezas de más de 6 hojas su efecto control se reduce y la efectividad se pierde.

Sin embargo, el uso excesivo de glifosato ha llevado a la aparición de malezas resistentes, lo que se considera una desventaja importante. Las malezas resistentes al glifosato tienen la capacidad de sobrevivir y crecer en presencia del herbicida, lo que reduce su eficacia en el control de malezas. Según Perkins, *et al.* (2021), la resistencia al glifosato se debe a una combinación de factores, como la selección natural y la falta de rotación de herbicidas. Además, la exposición constante al glifosato puede afectar el suelo y la biodiversidad, lo que hace que sea importante considerar otras opciones de manejo integrado de malezas.

1.3 Fundamentación legal

Esta investigación se ajusta al objetivo cinco del "Plan Nacional de Desarrollo 2019-2022 Toda una Vida" de Ecuador, el cual es: Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria número 5.6 donde se busca promover la investigación, la formación, la capacitación, el desarrollo y la transferencia tecnológica, la innovación y el emprendimiento, la protección de la propiedad intelectual, para impulsar el cambio de la matriz productiva mediante la vinculación entre el sector público, productivo y las universidades (Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo, 2018).

Según el **Ministerio de Agricultura y Ganadería** (2018), en su objetivo 3 muestra los objetivos estratégicos establecidos del "Plan Nacional de Desarrollo 2019-2022 Toda una Vida": **3.4.-** Promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global; y **3.9.-** Liderar una diplomacia verde y una voz propositiva por la justicia ambiental, en defensa de los derechos de la naturaleza.

Art. 9. Investigación y extensión para la soberanía alimentaria.- El Estado asegurará y desarrollará la investigación científica y tecnológica en materia agroalimentaria, que tendrá por objeto mejorar la calidad nutricional de los alimentos, la productividad, la sanidad alimentaria, así como proteger y enriquecer la agro biodiversidad. Además, asegurará la investigación aplicada y participativa y la creación de un sistema de extensión, que transferirá la tecnología generada en la investigación, a fin de proporcionar una asistencia técnica, sustentada en un diálogo e intercambio de saberes con los pequeños y medianos productores, valorando el conocimiento de mujeres y hombres.

El Estado velará por el respeto al derecho de las comunidades, pueblos y nacionalidades de conservar y promover sus prácticas de manejo de biodiversidad y su entorno natural, garantizando las condiciones necesarias para que puedan mantener, proteger y desarrollar sus conocimientos colectivos, ciencias, tecnologías, saberes ancestrales y recursos genéticos que contienen la diversidad biológica y la agro biodiversidad. Se prohíbe cualquier forma de apropiación del conocimiento colectivo y saberes ancestrales asociados a la biodiversidad nacional.

La naturaleza del estudio se enmarca dentro de alternativas para reducir la cantidad de plaguicidas liberados al ambiente. **La Ley de Comercialización y Empleo de Plaguicidas** (2018), señala en su **Art. 2.-** Plaguicida o producto afín es toda sustancia química, orgánica o inorgánica que se utilice sola, combinada o mezclada para prevenir, combatir o destruir, repeler o mitigar insectos, hongos, bacterias, nematodos, ácaros, moluscos, roedores, malas hierbas o cualquier otra forma de vida que cause perjuicio directo o indirecto a los cultivos agrícolas, productos vegetales o plantas en general (el glifosato es un ejemplo de plaguicida, el mismo que es incluido en este estudio). Además, señala en su **Art. 29.-** Los límites máximos de residuos de plaguicidas y productos afines en los productos vegetales serán fijados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería, previo dictamen del Ministerio de Salud Pública. Por lo tanto, los resultados obtenidos esperan disponer de alternativas no químicas para el control de malezas.

Art. 10. Institucionalidad de la investigación y la extensión.- La ley que regule el desarrollo agropecuario creará la institucionalidad necesaria

encargada de la investigación científica, tecnológica y de extensión, sobre los sistemas alimentarios, para orientar las decisiones y las políticas públicas y alcanzar los objetivos señalados en el artículo anterior; y establecerá la asignación presupuestaria progresiva anual para su financiamiento. El Estado fomentará la participación de las universidades y colegios técnicos agropecuarios en la investigación acorde a las demandas de los sectores campesinos, así como la promoción y difusión de la misma. **Art. 11.** Programas de investigación y extensión. - En la instancia de la investigación determinada en el artículo anterior y en el marco del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología y el Plan Nacional de Desarrollo, creará:

- a) Un programa de difusión y transferencia de tecnología dirigido al sector agroalimentario, con preferencia en los pequeños y medianos productores que tendrá un enfoque de demanda considerando la heterogeneidad de zonas agrobioclimáticas y patrones culturales de producción; y,
- b) Un programa para el análisis de los diversos sistemas alimentarios existentes en las diferentes regiones del país, a fin de orientar las políticas de mejoramiento de la soberanía alimentaria (Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria, 2018).

CAPÍTULO 2

ASPECTOS METODOLÓGICOS

2.1 Métodos

En el presente estudio de investigación se aplicaron diferentes tipos de métodos:

Método Inductivo-deductivo: El método inductivo en el reconocimiento de la presión e incidencia que determinan el establecimiento de *Eleusine indica* en un área determinada, en sentido generalizado, mientras que con el método deductivo, una vez obtenidos los resultados de la investigación, permitió extraer las respectivas conclusiones sobre cómo afectaron los tratamientos al desarrollo de la maleza.

Método científico empírico-experimental: Para el método científico fue necesario llevar a cabo la ejecución del ensayo con el uso de metodología basada tanto en medición de variables, observaciones sistemáticas, y experimentación de la efectividad de los distintos bioherbicidas utilizados para el control de *E. indica*.

2.1.1 Modalidad y tipo de investigación

Cualitativa: El trabajo se definió bajo una modalidad cualitativa, por cuanto el efecto analizado de los bioherbicidas se reflejó en el comportamiento fenotípico de *E. indica* alterando sus cualidades de desarrollo.

Cuantitativa: Esta modalidad de la investigación estuvo representada por los indicadores medibles de la respuesta de *E. indica* que se analizaron en las variables.

Experimental: El trabajo fue de tipo experimental debido al fundamento planteado. Para esto, se seleccionaron de manera voluntaria distintos bioherbicidas como alternativa al glifosato para el control de *E. indica* bajo condiciones controladas.

Descriptiva: El trabajo se desarrolló mediante una investigación de tipo descriptiva, enfocada en la caracterización de las mediciones de las variables, que en conjunto sirven para observar el comportamiento en el ensayo. Se considera también de tipo documental debido a que la información se recabó de varias fuentes (revistas científicas, libros y documentos respectivos a la presente investigación).

Es comparativa en vista a que se evaluaron diferentes bioherbicidas para control de *E. indica* en el ensayo. Además, es exploratoria pues con ella se logró explicar el porqué de un fenómeno en la zona de estudio. También es analítica, porque se evaluaron cada una de las variables para obtener resultados por medio de los métodos aplicados. Por último, es una investigación explicativa debido a su carácter experimental en el cual se valoraron bioherbicidas como alternativa de control para *E. indica*.

2.1.2 Procedimiento y criterios de muestreo:

Se efectuaron dos aplicaciones en distintos momentos del ensayo.

La primera aplicación fue vía foliar en post emergencia a los 15 días en plantas de hasta cinco hojas. Esto se realizó porque el coleóptilo de *E. indica* emerge entre 5 y 10 días después de la germinación de la semilla, por lo cual a los 15 días ya posee cinco hojas verdaderas, después de esto empieza a aparecer el desarrollo foliar y aquí es oportuno el control (Rahman & Sultana, 2021).

La segunda aplicación se realizó a los 45 días después de la primera, etapa de desarrollo en que la maleza ya muestra signos de recuperación posteriores a la fumigación. La razón de ello es que, en *E. indica* la muerte de células radiculares al 100% es difícil, por lo cual la planta tiene la capacidad de regenerarse, sus células comienzan a dividirse y diferenciarse, formando nuevos brotes y hojas utilizando las reservas de carbohidratos almacenadas en las raíces para impulsar el crecimiento y regeneración de los tejidos dañados (Rincón, 2020)

2.2 Variables

La presente investigación se realizó manejando dos tipos de variables que se detallan a continuación:

2.2.1 Variables independientes

Tipos de herbicidas: (1) vinagre + zumo de limón, (2) alcanfor + zumo de limón, (3) extracto de ortiga, (4) glifosato, como testigo comercial.

2.2.2 Variables dependientes

Entre las variables dependientes que están relacionadas al control de *E. indica* se encuentran:

Altura de planta (cm):

Se midió la altura, desde el ras del suelo hasta el ápice de las plantas de *E. indica* tratadas con bioherbicidas en comparación con las plantas no tratadas. Esto se realizó tomando diez plantas al azar de cada unidad experimental para obtener una medida promedio por tratamiento. Todas las evaluaciones fueron realizadas en dos instancias del ensayo, la primera a los 15 días en post emergencia y la segunda, 45 días después.

Número de hojas (#):

Se midió el número de hojas de diez plantas de *E. indica* tomadas al azar de cada repetición para obtener una medida promedio por tratamiento y el testigo. Se tomó una medición por cada unidad experimental para obtener una medida promedio por tratamiento, que representó la cantidad de hojas/planta con capacidad de salir ante la influencia de los bioherbicidas.

Daño foliar (%):

Se procedió a calcular el porcentaje de superficie foliar de *E. indica* que fue afectada por los bioherbicidas, utilizando una escala visual de daño foliar a través de un software de reconocimiento de imágenes (Canopeo). Se tomó una medición por cada unidad experimental para obtener una medida promedio por tratamiento.

Floración (#):

Se midió la capacidad de los bioherbicidas para inhibir la floración de *E. indica*, lo que constituyó un indicador de su efectividad para reducir la propagación de la maleza. Esto se realizó tomando diez plantas al azar de cada unidad experimental, en las cuales se contaron las inflorescencias para obtener una medida promedio por planta.

Biomasa (kg):

Se cuantificó la biomasa de las plantas de *E. indica* tratadas con bioherbicidas en comparación con las plantas no tratadas, lo que proporcionó una estimación de la reducción en el crecimiento de la maleza. Esto se realizó tomando cinco plantas al azar de cada unidad experimental, las cuales fueron arrancadas y

secadas al horno por 24 horas para pesarlas y obtener una medida promedio de la biomasa por planta en gramos.

Eficacia de control (%)

Para evaluar la eficacia de los distintos bioherbicidas en el control de *E. indica*, se utilizó la ecuación del porcentaje de eficacia de Abbot (Becerra, 2022), registrando el número de plantas vivas en los tratamientos y grupo control. Con estos datos se procedió a calcular el porcentaje de eficacia de control de los bioherbicidas y el glifosato en comparación con el testigo absoluto, lo que permitió evaluar su efectividad en la reducción del número de plantas de *E. indica* en el área de estudio. La ecuación del porcentaje de eficacia de Abbot es la siguiente:

$$\% \text{ Eficacia} = \frac{C - T}{C} \times 100$$

Donde:

% Eficacia = Porcentaje de control

C = Número de malezas vivas en el testigo (sin tratamientos)

T = Números de malezas vivas en el tratamiento

2.2.3 Operacionalización de las variables

Tabla N°1: Operacionalización de las variables

	Tipo de variable	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Tipo de medición	Instrumentos de medición
INDEPENDIENTES	Tipos de herbicidas: <ul style="list-style-type: none"> • Vinagre + zumo de limón • Alcanfor + zumo de limón • Extracto de ortiga • Glifosato (testigo comercial) 	Los diferentes bioherbicidas afectan al desarrollo de la maleza <i>E. indica</i> , en cuanto a su crecimiento vegetativo y producción de biomasa	Desarrollo de <i>E. indica</i> frente a la aplicación de los distintos tratamientos	Dosificación de cada tratamiento	Cuantitativa	Vaso dosificador
				Respuesta de <i>E. indica</i> ante la aplicación	Cualitativa y cuantitativa	Cuadrante de muestreo
				Tasa de control y tasa de recuperación de <i>E. indica</i>	Cuantitativa	Cuadrante de muestreo Software de reconocimiento de imágenes
DEPENDIENTES	Variables de comportamiento respecto a la maleza: <ul style="list-style-type: none"> • Altura de planta • Número de hojas • Daño foliar • Floración • Biomasa 	El desarrollo fenológico de <i>E. indica</i> indica la eficacia de cada tratamiento. Los diferentes bioherbicidas afectan de manera diferente las variables de desarrollo de la maleza	La efectividad de cada bioherbicida y el testigo comercial se manifiesta en altura, número de hojas, daño foliar, floración y biomasa de <i>E. indica</i>	Desarrollo fenológico observable	Cualitativa y cuantitativa	Observación y análisis de datos
				Tasa reproductiva de la maleza	Cuantitativa	Observación y análisis de datos
				Cantidad de biomasa	Cuantitativa	Análisis de datos

Elaborado por: Alvarado, 2024

2.4 Técnicas de recolección de datos

Recursos bibliográficos: Para la recopilación de información de fuentes teóricas que respalden la investigación se utilizaron publicaciones de revistas científicas, tesis de grado del Centro de Información Agraria, guías e informes técnicos de la biblioteca virtual de la Universidad Agraria del Ecuador.

Materiales y equipo: Entre los materiales de campo y equipos que se utilizaron, se encuentran los siguientes: canastillas, cinta métrica, piola, letreros (para establecimiento del ensayo), machete, calibrador, regadera (para mantenimiento del ensayo), bomba mochila de 20 L, preparados bioherbicidas a base de vinagre, alcanfor y ortiga, herbicida comercial, software de reconocimiento

de imágenes (Canopeo), libreta de campo (para muestreo de tratamientos y toma de datos).

Material vegetal: Semillas endémicas de *Eleusine indica* colectadas en la zona de estudio.

2.4.1 Manejo del ensayo

Establecimiento de las plantas:

Debido a que el trabajo se desarrolló en condiciones controladas, se sembró la maleza *Eleusine indica* tomando semillas endémicas del sitio de estudio y tierra del lugar esterilizada mediante método térmico. Para distribuir una población de plantas con tratamientos y repeticiones en base al diseño escogido, se esparcieron en una canastilla prefabricada 20 gramos de semilla de *E. indica* (en total 20 g por 20 cajones, es decir 400 gramos de semilla).

Muestra de estudio:

La muestra estuvo constituida por los cinco tratamientos por cuatro repeticiones en el diseño DCA, un total de 20 unidades experimentales. Se descartaron las plantas de efecto borde para el muestreo de las variables de estudio.

Mantenimiento de las plantas:

A las plantas de *E. indica* establecidas en los tratamientos y repeticiones se les proporcionó condiciones de riego y deshierbe de otras especies para que se desarrollen con normalidad antes de iniciar las aplicaciones de los bioherbicidas y del testigo comercial.

2.5 Estadística descriptiva e inferencial

Por la caracterización del estudio, la evaluación estadística de las variables se llevó a cabo a través de un modelo de análisis de varianza (ANDEVA), en función del diseño experimental empleado. La comparación de medias se efectuó mediante la prueba de Tukey, cuyos análisis se realizaron al 5 % de error tipo 1 ($p < 0,05$).

Para la organización, procesamiento y análisis de datos obtenidos en el ensayo, se recurrió al software estadístico Infostat, muy utilizado en los campos de la agronomía y las ciencias de la vida.

Tabla 3: Modelo de ANDEVA

Fuentes de variación	Grados de libertad
Total (tr-1)	19
Tratamientos (t-1)	4
Error experimental t (r-1)	15

Elaborado por: Alvarado, 2024

2.6 Diseño experimental

Con la hipótesis de que los bioherbicidas pueden resultar efectivos para controlar el crecimiento vegetativo y reproductivo de *E. indica*, el ensayo planteó el diseño completamente al azar (DCA) para probar la hipótesis de igualdad entre los tratamientos aplicados, con el objetivo de responder la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es la efectividad de los bioherbicidas en el control de *E. indica* en condiciones controladas y su impacto en el crecimiento vegetativo y la biomasa de dicha maleza?

En base a las condiciones controladas bajo las cuales se desarrolló este estudio, se optó por el DCA, que proporcionó el máximo número de grados de libertad del error (Bustos, *et al.* 2019). Se evaluaron de manera experimental cinco tratamientos que incluyeron tres bioherbicidas (a base de vinagre, alcanfor y extracto de ortiga), un testigo comercial representado por glifosato (el herbicida más usado en la zona de estudio) y un testigo absoluto que permitió contrastar el comportamiento de las variables en los distintos tratamientos. Cada uno de estos tratamientos fue valorado a través de cuatro repeticiones, generando un total de 20 unidades experimentales.

Tabla N°2: Tratamientos del estudio

N°	Tratamiento	Dosificación (20 L)	Frecuencia
1	Vinagre + zumo de limón	1 L (750 cc vinagre + 250 cc zumo de limón)	
2	Alcanfor + zumo de limón	200 g alcanfor + 100 cc zumo de limón + 100 cc agua	Aplicación foliar en post-emergencia, a los 15 días y 45 días de
3	Extracto de ortiga	1 L extracto de ortiga (500 g de plantas machacadas maceradas 24 h en 1 L agua)	establecidas las plantas de <i>Eleusine indica</i>
4	Glifosato (testigo comercial)	200 cc	
5	Testigo absoluto		Sin aplicación

Elaborado por: Alvarado, 2024

El área total del ensayo fue 13,33 m² (4,30 m x 3,10 m). Cada unidad experimental tuvo una dimensión de 0,50 m x 0,40 m, es decir 0,20 m², sumando en total 20 que resultan en un área útil de 4 m². Se dejaron 0,30 m de distancia entre cada unidad experimental para facilitar la movilidad entre tratamientos y repeticiones al momento de efectuar el mantenimiento, las fumigaciones y la toma de datos. El croquis de campo del experimento con la distribución de tratamiento, los tamaños de las parcelas y su respectiva área útil se observan en el **Anexo N°1**.

RESULTADOS

4.1 Efecto de los bioherbicidas sobre el crecimiento vegetativo de *Eleusine indica*

Las plantas establecidas en los tratamientos y repeticiones fueron cuidadas con riego y deshierba de otras especies antes de aplicar los bioherbicidas y el testigo comercial. Para evaluar el efecto de cada bioherbicida sobre el crecimiento vegetativo de *E. indica*, se realizó una primera aplicación vía foliar en post emergencia a los 15 días, y luego una segunda aplicación a los 45 días después de la primera.

4.1.1 Altura de planta (cm) a los 15 y 45 días

En la tabla N°5 se detalla la altura que tuvieron las plantas de *E. indica* presentes en cada uno de los tratamientos a los 15 días del establecimiento, previo a la aplicación de los bioherbicidas y el testigo comercial Glifosato (Anexo N°3), y a los 45 días al momento de la segunda aplicación de bioherbicidas y testigo comercial, ya sometidas al efecto de la aplicación previa (Anexo N°4).

Tabla N°5: Altura (cm) de *E. indica* a los 15 días, previo a la aplicación de bioherbicidas y testigo comercial, y a los 45 días, al momento de la segunda aplicación de bioherbicidas y testigo comercial

N°	Tratamientos	Altura de planta 15 días (cm)	Altura de planta 45 días (cm)
1	Vinagre + zumo de limón	6,75 a	26,70 b
2	Alcanfor + zumo de limón	7,00 a	18,68 a
3	Extracto de ortiga	7,10 a	29,23 b
4	Glifosato (testigo comercial)	7,00 a	14,98 a
5	Testigo absoluto	7,25 a	50,35 c
	Significancia ANDEVA	ns	**
CV		7,56 %	6,43 %

Medidas con letras iguales no difieren significativamente ($p > 0,05$).

ns: resultados estadísticamente no significativos

** Altamente significativa ($p < 0,01$)

Datos de los promedios de la altura de *E. indica* (15 días y 45 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial

Elaborado por: Alvarado, 2024

De acuerdo con la tabla N°5, a los 15 días las alturas de las plantas variaron un mínimo, oscilando entre 6,75 cm y 7,25 cm. El coeficiente de variación de 7.56 % respalda la confiabilidad de los resultados. De acuerdo al análisis de varianza, no existieron diferencias significativas entre los tratamientos, mostrando un crecimiento similar de *E. indica* en este período (figura N°1).

A los 45 días, correspondientes al momento de la segunda aplicación de bioherbicidas y el testigo comercial, los datos mostraron una variación significativa en las alturas, destacando el testigo absoluto (50,35 cm), seguido por el extracto de ortiga (29,23 cm), el vinagre (26,70 cm), alcanfor (18,68 cm) y testigo comercial (14,98 cm). La prueba de Tukey al 5% evidencia el efecto de los tratamientos sobre la inhibición de crecimiento con respecto al testigo, el cual destacó por la altura de las plantas. La baja variabilidad, expresada por el coeficiente de variación de 6.43%, sugiere consistencia en los resultados (figura N°2).

4.1.2 Número de hojas a los 15 y 45 días

En la tabla N°6 se detalla el número de hojas que tuvieron las plantas de *E. indica* presentes en cada uno de los tratamientos, a los 15 días del establecimiento, previo a la aplicación de los bioherbicidas y el testigo comercial (Anexo N°5), contrastando dichos valores a los 45 días, al momento de la segunda aplicación de los bioherbicidas y el testigo comercial (Anexo N°6).

Tabla N°6: Número de hojas en *E. indica* a los 15 días, previo a la aplicación de bioherbicidas y testigo comercial, y a los 45 días, al momento de la segunda aplicación de bioherbicidas y testigo comercial

N°	Tratamientos	Número de hojas (15 días)	Número de hojas (45 días)
1	Vinagre + zumo de limón	5,00 a	6,00 a
2	Alcanfor + zumo de limón	5,00 a	6,00 a
3	Extracto de ortiga	5,00 a	13,75 b
4	Glifosato (testigo comercial)	4,50 a	5,00 a
5	Testigo absoluto	4,50 a	29,25 c
	Significancia ANDEVA	ns	**
CV		15,21 %	18,70 %

Medidas con letras iguales no difieren significativamente ($p > 0,05$).

ns: resultados estadísticamente no significativos

** Altamente significativa ($p < 0,01$)

Datos de los promedios del número de hojas de *E. indica* (15 días)

Elaborado por: Alvarado, 2024

Según la tabla N°6, los resultados revelan que todos los tratamientos muestran un número similar de hojas, alrededor de 4,50 a 5,00 hasta los 15 días, previos a la primera aplicación. El coeficiente de variación del 15.21% indica una moderada variabilidad en los datos, no existiendo diferencias significativas entre los tratamientos según el análisis de varianza (figura N°3).

Una vez realizada la primer aplicación y transcurrido el lapso de tiempo hasta la segunda, los resultados revelaron diferencias en el número de hojas en los tratamientos. Tanto glifosato, como vinagre y alcanfor presentaron valores similares (5 hojas), mientras que el extracto de ortiga exhibió un aumento significativo (13,75), y el testigo absoluto un marcado incremento (29,25), con un coeficiente de variación de 18,70%. Según la prueba de Tukey al 5%, se destaca el efecto distintivo del testigo absoluto en el aumento del número de hojas, cuya variación significativa indica una respuesta diferencial de *E. indica* a los diferentes tratamientos, destacando la efectividad del glifosato, el alcanfor y el vinagre para el manejo de dicha planta (figura N°4).

4.2 Porcentaje de daño foliar e inhibición de floración en *Eleusine indica* como respuesta ante los bioherbicidas

4.2.1 Daño foliar (%) a los 25 y 55 días

En la tabla N°7 se detalla el porcentaje de daño foliar en las plantas de *E. indica* presentes en cada uno de los tratamientos, una vez aplicados los bioherbicidas y el testigo comercial a los 15 y 45 días, ambos con un lapso de 10 días posteriores para evaluar el efecto de las aplicaciones (Anexos N°7 y N°8).

Tabla N°7: Daño foliar (%) en *E. indica* a los 25 días y a los 55 días, una vez aplicados los bioherbicidas y el testigo comercial

N°	Tratamientos	Daño foliar (%), 25 días	Daño foliar (%), 55 días
1	Vinagre + zumo de limón	80,23 b	93,01 b
2	Alcanfor + zumo de limón	94,30 a	94,27 b
3	Extracto de ortiga	73,17 b	87,45 c
4	Glifosato	97,08 a	98,88 a
5	Testigo absoluto	0,00 c	0,00 d
	Significancia ANDEVA	**	**
CV		4,72 %	1,15 %

Medidas con letras iguales no difieren significativamente ($p>0,05$).

** Altamente significativa ($p<0,01$)

Datos de los promedios de porcentaje de daño foliar en *E. indica* (25 días y 55 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial

Elaborado por: Alvarado, 2024

Después de primer aplicación de los bioherbicidas y el testigo comercial, los resultados revelaron disparidades en el daño foliar entre tratamientos (tabla N°7). Con el uso de glifosato (97,08%) y alcanfor (94,30%) se obtuvieron porcentajes elevados de daño foliar, mientras que con vinagre (80,23%) y extracto de ortiga (73,17%) se presentó un daño intermedio. El coeficiente de variación fue de 4,72%. La prueba de Tukey al 5%, reveló variaciones significativas en el daño foliar, evidenciando una disminución de la efectividad del extracto de ortiga con respecto a los otros bioherbicidas (figura N°5).

En cuanto al daño foliar a los 55 días con la segunda aplicación, continuó la variación entre los tratamientos. Glifosato presentó el mayor porcentaje de daño (98,88%), seguido por alcanfor (94,27%) y vinagre (93,01%), siendo menos efectivo

el extracto de ortiga (87,45%). El coeficiente de variación fue 1,15%. Existieron diferencias significativas entre los tratamientos según la prueba de Tukey al 5%, resaltando la progresión en los niveles de daño en los bioherbicidas y el testigo comercial (figura N°6).

4.2.2 Floración a los 15 y 45 días

En la tabla N°8 se detalla la tasa de floración en las plantas de *E. indica* presentes en cada uno de los tratamientos, una vez aplicados los bioherbicidas y el testigo comercial a los 15 y 45 días, ambos con un lapso de 10 días posteriores para evaluar el efecto de las aplicaciones (Anexos N°9 y N°10).

Tabla N°8: Tasa de floración de *E. indica* a los 15 días, previo a la aplicación de bioherbicidas y testigo comercial, y a los 45 días, al momento de la segunda aplicación de bioherbicidas y testigo comercial

N°	Tratamientos	Flores/planta (15 días)	Flores/planta (45 días)
1	Vinagre + zumo de limón	1,25 a	2,75 ab
2	Alcanfor + zumo de limón	1,50 a	1,75 ab
3	Extracto de ortiga	1,25 a	3,75 b
4	Glifosato	1,50 a	1,25 a
5	Testigo absoluto	1,50 a	8,00 c
	Significancia ANDEVA	ns	**
CV		39,12 % (original) 19,29 % (ajuste \sqrt{y})	28,57 %

Medidas con letras iguales no difieren significativamente ($p>0,05$).

ns: resultados estadísticamente no significativos

** Altamente significativa ($p<0,01$)

Datos de los promedios de porcentaje de daño foliar en *E. indica* (25 días y 45 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial

Elaborado por: Alvarado, 2024

De acuerdo con la tabla N°8, antes de la primera aplicación, los resultados obtenidos indican tasas de floración similares en todos los tratamientos (1,25 a 1,50 flores por planta), con un coeficiente de variación de 39.12%. De acuerdo al análisis de varianza, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos, por cuanto a los 15 días, tanto bioherbicidas, como testigo comercial y testigo absoluto no poseen un impacto significativo en la tasa de floración (figura N°7). Cabe indicar

que esta variable fue ajustada a \sqrt{y} debido al coeficiente de variación relativamente alto (39,12%) con el fin de corroborar la significancia obtenida en el análisis de varianza original; lográndose al final un CV de 19,29%.

Al momento de la segunda aplicación de bioherbicidas y el testigo comercial, los resultados revelaron una variación significativa en la tasa de floración. La mejor respuesta inhibitoria la dio glifosato (1,25 flores por planta), mientras que alcanfor y vinagre presentaron tasas intermedias (1,75 y 2,75, en su respectivo orden). Con extracto de ortiga la floración aumentó (3,75) aunque siguió distanciada al testigo absoluto (8,00), con un coeficiente de variación de 28,57%. Por lo tanto, hay diferencias significativas entre los tratamientos según la prueba de Tukey al 5%, destacando la significativa floración en el testigo absoluto en comparación con los bioherbicidas y el testigo comercial. Estos resultados sugieren que el proceso de floración es detenido en mayor o menor grado, con la aplicación de los tratamientos (figura N°8).

4.3 Dinámica de presión de *Eleusine indica* en el espacio: biomasa y eficacia de control

4.3.1 Biomasa (kg) a los 55 días

En la tabla N°9 se detalla la biomasa en gramos correspondiente a cinco plantas de *E. indica* escogidas al azar de cada unidad experimental, secadas por 24 horas a los 55 días, después de 10 días de haber sido aplicados los bioherbicidas y el testigo comercial (Anexo N°11).

Tabla N°9: Biomasa (kg) en 5 plantas de *E. indica* a los 55 días, después de la segunda aplicación de bioherbicidas y testigo comercial

N°	Tratamientos	Biomasa (kg)
1	Vinagre + zumo de limón	0,19 b
2	Alcanfor + zumo de limón	0,18 ab
3	Extracto de ortiga	0,25 c
4	Glifosato	0,13 a
5	Testigo absoluto	0,46 d
	Significancia ANDEVA	**
	CV	10,49 %

Medidas con letras iguales no difieren significativamente ($p > 0,05$).

** Altamente significativa ($p < 0,01$)

Datos de los promedios de la biomasa en gramos en *E. indica* (55 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial

Elaborado por: Alvarado, 2024

Transcurridos 55 días de aplicados los bioherbicidas y el testigo comercial, los resultados presentaron diferencias significativas entre los tratamientos (tabla N°9), aumentando la biomasa en las plantas del testigo absoluto en comparación con los demás tratamientos. La menor biomasa de *E. indica* se presentó con el uso de glifosato (0,13 kg), seguido por alcanfor (0,18 kg) y vinagre (0,19 kg). Con extracto de ortiga se presentó una biomasa superior a los otros bioherbicidas (0,25 kg), mientras que el testigo absoluto se evidenció una mayor biomasa (0,46 kg). El coeficiente de variación del 10,49% indica una moderada variabilidad en los datos. Existieron diferencias significativas entre los tratamientos según la prueba de Tukey al 5%, resaltando la notable superioridad en la biomasa del testigo absoluto en comparación con los bioherbicidas y el testigo comercial. Por lo tanto, la variación

en la biomasa evidenció la efectividad diferencial de los tratamientos en este aspecto específico del desarrollo de *E. indica* (figura N°9).

4.3.2 Eficacia de control (%) a los 55 días

En la tabla N°10 se detalla el porcentaje de eficacia de Abbot de los bioherbicidas y el testigo comercial en *E. indica* a los 45 días, con un lapso de 10 días posteriores para evaluar el efecto de las aplicaciones con respecto al testigo absoluto (Anexo N°12).

Tabla N°10: Eficacia de control (%) de Abbot en *E. indica* a los 55 días, después de la segunda aplicación de bioherbicidas y testigo comercial con respecto al testigo absoluto

N°	Tratamientos	Eficacia de control (%)
1	Vinagre + zumo de limón	90,33 b
2	Alcanfor + zumo de limón	91,63 b
3	Extracto de ortiga	84,63 c
4	Glifosato	96,35 a
5	Testigo absoluto	0,00 d
	Significancia ANDEVA	**
	CV	1,21 %

Medidas con letras iguales no difieren significativamente ($p > 0,05$).

** Altamente significativa ($p < 0,01$)

Datos de los promedios del porcentaje de eficacia de control de Abbot (55 días) en *E. indica* frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial con respecto al testigo absoluto

Elaborado por: Alvarado, 2024

En base al porcentaje de eficacia de Abbot, calculado para los bioherbicidas y el testigo comercial, en comparación con el testigo absoluto, se obtuvieron diferencias notables entre los tratamientos (tabla N°10). El testigo comercial (Glifosato) consiguió la mayor eficacia sobre *E. indica* (96,35%) seguido por alcanfor (91,63%) y vinagre (90,33%). El extracto de ortiga como bioherbicida demostró eficacia inferior (84,63%). El coeficiente de variación fue 1,21%. Los resultados mostraron diferencias significativas entre los tratamientos según la prueba de Tukey al 5%, resaltando la eficacia distintiva del glifosato, desplazando al alcanfor como segunda mejor opción de control a base de un bioherbicida. Sin embargo, pese a que el glifosato demostró ser más eficaz en el control de *E. indica*,

no consiguió llegar al 100%. La variación porcentaje de eficacia de Abbot destaca la disparidad en la respuesta de *E. indica* a los diferentes tratamientos, con implicaciones importantes para estrategias de manejo y control de esta especie, teniendo al alcanfor y al vinagre como alternativas de bioherbicidas con elevada eficacia sin recurrir a herbicidas químicos (figura N°10).

DISCUSIÓN

Una vez obtenidos los resultados del presente trabajo de investigación, y de acuerdo a la hipótesis planteada: “Los bioherbicidas pueden resultar efectivos para controlar el crecimiento vegetativo y reproductivo de *Eleusine indica*, constituyendo una posible alternativa a los herbicidas comerciales”, se señala lo siguiente:

La altura promedio de las plantas de *E. indica* a los 15 días reveló variación mínima, con crecimiento uniforme, oscilando entre 6,75 cm y 7,25 cm. Esto concuerda con un estudio de análisis del crecimiento de plantas y malezas en especies hortícolas, frutales y ornamentales, donde se ilustran alternativas para la utilización de estos indicadores tanto a nivel de planta aislada como de cultivo (Di Benedetto & Tognetti, 2016).

Sin embargo, transcurridos 45 días, con el efecto de los bioherbicidas y el testigo comercial, se observó una variación considerable en las alturas, diferenciándose el testigo absoluto (50,35 cm), de las plantas tratadas con extracto de ortiga (29,23 cm), vinagre + zumo de limón (26,70 cm), alcanfor + zumo de limón (18,68 cm) y Glifosato (14,98 cm). Estos resultados respaldan el efecto de los extractos orgánicos para inhibir el crecimiento de *E. indica* (Guevara, *et al.* 2019), lo que sugiere que los bioherbicidas pueden ser una alternativa viable a los herbicidas químicos comerciales. No obstante, según Larran (2018), los herbicidas químicos comerciales han demostrado ser una herramienta más eficaz y rápida para el control de *E. indica*, debido a su acción rápida e inmediata.

El número de hojas en las plantas de *E. indica* a los 15 días mostró una similitud en todos los tratamientos, oscilando alrededor de 4,50 a 5,00. Pero una vez sometidas al efecto de los tratamientos se observaron notables disparidades en el número de hojas entre los tratamientos. La acción del herbicida comercial (glifosato), y dos bioherbicidas (vinagre y alcanfor) detuvieron la salida de hojas, mientras que con extracto de ortiga hubo una eficacia menor (13,5), que de todas formas sigue siendo inferior al testigo absoluto (29,25). Estos resultados apoyan los resultados de la respuesta diferencial de *E. indica* a los tratamientos aplicados, debido a mecanismos de resistencia provenientes de enzimas o la activación de vías metabólicas alternativas, con lo que se expresa resistencia de las plantas a los herbicidas, en menor o mayor grado (Takano, *et al.* 2020).

El porcentaje promedio de daño foliar en las plantas de *E. indica* a los 25 días, tras la aplicación de bioherbicidas y el testigo comercial, reveló disparidades entre los tratamientos. Por una parte glifosato fue similar al alcanfor con porcentajes elevados de daño foliar, lo cual respalda el uso de alcanfor como bioherbicida (Espinales, 2019; Molina, 2021), superando al vinagre y extracto de ortiga donde se presentaron daños intermedios. Estos resultados difieren acerca de la efectividad del vinagre expresada por Mennan, *et al.* (2020) y Yang, *et al.* (2023), y sobre todo del uso de ortiga, el mismo que fue el bioherbicida de menor efectividad, contrastando con Maričić, *et al.* (2021), quienes señalan un importante efecto herbicida a partir del extracto de esta planta. A los 55 días, con un lapso de 10 días posteriores a la segunda aplicación, se mantuvo la misma tendencia en cuanto a la efectividad de los tratamientos.

La floración de *E. indica* a los 15 días, antes de la aplicación de bioherbicidas y el testigo comercial, tuvo tasas similares alrededor de 1,25 a 1,50 flores por planta. Mientras que a los 45 días, tras la segunda aplicación, con uso de glifosato las plantas inhibieron su floración. Este resultado difiere con lo reportado por Zhang, *et al.* (2021), quienes señalan que *E. indica* no altera su comportamiento fenológico, presentando resistencia a este herbicida, lo cual es producto del uso repetido del glifosato durante décadas.

Por otro lado, los preparados herbicidas con alcanfor y vinagre mostraron tasas intermedias, en su respectivo orden, de 1,75 y 2,75 y con el uso de extracto de ortiga, la floración en *E. indica* aumentó a 3,75, aunque el testigo absoluto consiguió la tasa más alta con 8,00 flores por planta. Estos resultados concuerdan con estudios que plantean los extractos alelopáticos como una alternativa efectiva para controlar la floración de malezas como *E. indica* (Khan, 2015), señalando que dichos extractos vegetales constituyen una alternativa viable y ecológica para inhibir la aparición de flores en dicha especie (Mendez, 2019).

La biomasa en *E. indica* (cinco plantas) a los 55 días reveló diferencias significativas entre los bioherbicidas y el testigo comercial. Con el efecto del glifosato se produjo la menor biomasa (0,13 kg) resultando el mejor efecto de control, lo cual concuerda con Liu, *et al.* (2019). Los preparados de alcanfor y vinagre constituyeron la segunda mejor opción para control de biomasa en *E. indica*, donde la biomasa llegó a 0,18 kg y 0,19 kg en su respectivo orden, y superaron al extracto de ortiga, con biomasa de 0,25 kg en *E. indica*. De estos

resultados, se concuerda con Molina (2021) y Domenghini (2020), quienes resaltan las propiedades herbicidas del alcanfor y el vinagre sobre la epidermis y el mesófilo de las hojas, y se difiere en cierto grado con la efectividad herbicida basada en las propiedades alelopáticas de la ortiga (Samakar, *et al.* 2022).

La eficacia de control (%) de Abbot reveló que, como testigo comercial, el glifosato obtuvo el mejor resultado (96,35%), concordando con lo señalado por Liu, *et al.* (2019) sobre el potencial herbicida del glifosato y difiriendo con Perkins, *et al.* (2021) en cuanto al factor de resistencia a dicho herbicida por parte de *E. indica*. Por su parte, en calidad de bioherbicidas se logró una eficacia cercana al testigo comercial con alcanfor (91,63%) y vinagre (90,33%). Esto concuerda con lo expresado por Isman (2019) y Espinales (2019) para el alcanfor como inhibidor de crecimiento y promovedor de muerte celular, y por Pantović & Sečanski (2023), referente al efecto deshidratante del vinagre que produce la muerte de las plantas. De los resultados obtenidos, el extracto de ortiga tuvo una eficacia inferior (84,63%) con respecto a los otros bioherbicidas, lo que difiere en cuanto a su eficacia para suprimir el crecimiento de malezas como *E. indica* (Lorenzo, *et al.* 2019).

Por lo antes expuesto, se acepta la hipótesis planteada en vista de la elevada eficacia en dos de los tres bioherbicidas probados (alcanfor y vinagre), los cuales estuvieron muy próximos al testigo comercial (glifosato), pudiendo ser empleados en estrategias de manejo y control contra *E. indica*, reduciendo el uso de herbicidas químicos.

CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos en relación a los tratamientos estudiados, se concluye:

El herbicida comercial y los bioherbicidas afectan el desarrollo vegetativo de *Eleusine indica*. Glifosato detiene 70,25% la altura e inhibe 82,91% la foliación, desplazando al alcanfor (62,90% y 79,49%, en su respectivo orden). En contraste, el vinagre presenta buena eficacia en detener foliación (79,49%) pero baja para inhibir altura (46,97%), mientras que el extracto de ortiga no exhibe efectividad como bioherbicida (41,95% de inhibición de altura y 52,99% de foliación). La emisión de hojas en *E. indica* se detiene con glifosato y bioherbicidas a base de alcanfor y vinagre, quedando entre 5 a 6 hojas, mucho menor frente a un máximo de 34 hojas en algunas plantas testigo.

Glifosato ocasiona mayor daño foliar (97,98%) e inhibición de floración (84,38%) en *E. indica*, mientras que el alcanfor produce un daño foliar cercano (94,29%) e inhibición de floración de 78,13%. Por su parte, el vinagre y el extracto de ortiga causan daños aceptables a nivel foliar (86,62% y 80,31%, en su respectivo orden), e inhiben la aparición de flores (65,63% y 53,13%), siendo opciones viables para reducir la floración y la dispersión de semillas.

La dinámica de presión de *E. indica* en términos de biomasa se reduce con glifosato (71,74%) y llega a 96,35% de eficacia de Abbot. El alcanfor reduce biomasa en 60,87% con eficacia de 91,63%, siendo la mejor opción bioherbicida. Aunque el vinagre no posee acción destacable para reducir biomasa (58,70%), es alta su eficacia de control (90,33%), mientras que el extracto de ortiga es menos efectivo en reducción de biomasa (45,65%) y eficacia de control (84,63%).

RECOMENDACIONES

Con base a resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, se realizan las siguientes recomendaciones:

Considerando la detención efectiva del crecimiento en altura, la inhibición de la foliación, y la reducción significativa de la biomasa de *Eleusine indica*, se recomienda el uso de alcanfor + zumo de limón como bioherbicida, sobre todo en contextos donde la resistencia o preocupaciones ambientales limitan el uso de glifosato.

Aunque el vinagre y el extracto de ortiga presentan eficacias moderadas y bajas en algunos aspectos, se sugiere una evaluación continua de estos bioherbicidas en diferentes condiciones y concentraciones, o combinados con otros tratamientos.

Dado que el vinagre y el extracto de ortiga muestran capacidad para inhibir la formación de flores en *E. indica*, se sugiere un enfoque integral que combine estos bioherbicidas con otros métodos de control para reducir la floración y la propagación de *E. indica*.

A pesar de su baja eficacia en ciertos aspectos, se recomienda una investigación adicional sobre el extracto de ortiga, para encontrar formas de optimizar su aplicación o combinarlo con otros agentes para mejorar su rendimiento como bioherbicida.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Abbas, T., Ahmad, A., Kamal, A., Nawaz, M. Y., Jamil, M. A., Saeed, T., ... & Ateeq, M. (2021). *Ways to use allelopathic potential for weed management: a review*. International Journal of Agriculture and Food Science, 5, 492-498.
- Azadi, M., Moghaddam, S. S., Rahimi, A., Pourakbar, L., & Popović-Djordjević, J. (2021). *Biosynthesized silver nanoparticles ameliorate yield, leaf photosynthetic pigments, and essential oil composition of garden thyme (Thymus vulgaris L.) exposed to UV-B stress*. Journal of Environmental Chemical Engineering, 9(5), 105919.
- Becerra, J. A. (2022). *Evaluación del efecto de diferentes mezclas de herbicidas en el control de arvenses gramíneas en el cultivo de arroz Oryza Sativa L en la finca la Primavera, Aguazul, Casanare*. Universidad de Pamplona.
- Boruah, T., Devi, B., Chetia, T., Choubey, K., Talukdar, K., Ansari, M. J., & Nayik, G. A. (2023). *Future Aspects of Grain Quality and Role of Technologists in Its Management*. Cereal Grains: Composition, Nutritional Attributes, and Potential Applications, 58.
- Brosnan, J. T., Elmore, M. T., & Bagavathiannan, M. V. (2020). *Herbicide-resistant weeds in turfgrass: current status and emerging threats*. Weed Technology, 34(3), 424-430.
- Bustos, A., Caicedo, D., & Cantor, F. (2019). *ANDEVA para diseño completamente al azar (DCA)*. Revista Facultad de Ciencias Básicas, 4(1-2), 143-148.
- Carreira, E., Serrano, J., Gomes, C. J. P., Shahidian, S., Paniagua, L. L., Pilirito, A., ... & Pereira, A. F. (2022). *Effect of sheep grazing, stocking rates and dolomitic limestone application on the floristic composition of a permanent dryland pasture, in the montado agroforestry system of Southern Portugal*. Animals, 12(19), 2506.
- Castro, A. H. (2022). *Rendimiento y Determinación de la Composición Química del Aceite Esencial de hojas y ramas de Ocotea acyphylla (alcanfor moena) mediante Cromatografía de Gases/Espectrometría de Masas*. Universidad Nacional de Ucayali

- Chu, L., Liu, H., Zhang, Z., Zhan, Y., Wang, K., Yang, D., ... & Yu, J. (2022). *Evaluation of Wood Vinegar as an Herbicide for Weed Control*. *Agronomy*, 12(12), 3120.
- De Mastro, G., El Mahdi, J., & Ruta, C. (2021). *Bioherbicidal potential of the essential oils from Mediterranean Lamiaceae for weed control in organic farming*. *Plants*, 10(4), 818.
- Di Benedetto, A., & Tognetti, J. (2016). *Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos*. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 42(3), 258-282
- Dítě, Z., Dítě, D., & Feráková, V. (2019). *Eleusine indica (L.) Gaertn., new species of the adventive flora of Slovakia*. *Thaiszia*, 29(1), 77-84.
- Domenghini, J. C. (2020). *Comparison of acetic acid to glyphosate for weed suppression in the garden*. *HortTechnology*, 30(1), 82-87.
- Duke, S. O., & Dayan, F. E. (2022). *The search for new herbicide mechanisms of action: Is there a 'holy grail'?*. *Pest Management Science*, 78(4), 1303-1313.
- Erhatic, R., Horvat, D., Zorić, Z., Repajić, M., Jović, T., Herceg, M., ... & Srećec, S. (2023). *Aqueous extracts of four medicinal plants and their allelopathic effects on germination and seedlings: Their morphometric characteristics of three horticultural plant species*. *Applied Sciences*, 13(4), 2258.
- Espinales, J. A. (2019). *Eficiencia de herbicidas en el control de malezas en plantaciones de Eucalyptus globulus Labill., Cantón Urcuqui, Provincia de Imbabura, 2019* (Bachelor's thesis, Universidad Técnica Estatal de Quevedo).
- Ettebong, E. O., Ubulom, P. M., & Obot, D. (2020). *A Systematic review on Eleusine indica (L.) Gaertn.: From ethnomedicinal uses to pharmacological activities*. *Journal of Medicinal Plants*, 8(4), 262-274.
- Fufa, A., Tessema, T., Bekeko, Z., & Mesfin, T. (2022). *Distribution and Abundance of Wild Sunflower (Verbesina encelioides) and its Impacts on Plant Biodiversity in The Central Rift Valley of Ethiopia*. *Ethiopian Journal of Crop Science*, 10(1), 89-106.
- Gerhards, R., Andujar Sanchez, D., Hamouz, P., Peteinatos, G. G., Christensen, S., & Fernandez-Quintanilla, C. (2022). *Advances in site-specific weed management in agriculture: A review*. *Weed Research*, 62(2), 123-133.

- Grzędzicka, E., & Reif, J. (2020). *Impacts of an invasive plant on bird communities differ along a habitat gradient*. *Global Ecology and Conservation*, 23, e01150.
- Guevara, J., Narváez, C., Marín, A., Gutiérrez, J., & Troncoso, C. (2019). *Bioherbicida a partir de extracto fenólico obtenido de residuos de almazaras*. *Scientia Agropecuaria*, 10(4), 497-503.
- Harms, N. E., Knight, I. A., Pratt, P. D., Reddy, A. M., Mukherjee, A., Gong, P., ... & Diaz, R. (2021). *Climate mismatch between introduced biological control agents and their invasive host plants: improving biological control of tropical weeds in temperate regions*. *Insects*, 12(6), 549.
- Heap, I. (2022). *The international survey of herbicide-resistant weeds*. Online. Recuperado de <http://www.weedscience.org>
- Hossain, A., Islam, M. T., Islam, M. S., Ahmed, S., Sarker, K. K., & Gathala, M. K. (2019). *Chemical weed management in maize (Zea mays L.) under conservation agricultural systems: an outlook of the Eastern Gangetic Plains in South-Asia*. IntechOpen.
- Hossen, K., Asato, Y., Teruya, T., & Kato-Noguchi, H. (2023). *Identification of four allelopathic compounds including a novel compound from *Elaeocarpus floribundus* Blume and determination of their allelopathic activity*. *Journal of Environmental Management*, 326, 116728.
- Ibáñez, M. D., Sanchez-Ballester, N. M., & Blázquez, M. A. (2020). *Encapsulated limonene: A pleasant lemon-like aroma with promising application in the agri-food industry. A review*. *Molecules*, 25(11), 2598.
- Ichihara, M., Tominaga, T., Yamashita, M., & Sawada, H. (2020). *Emergence of glyphosate-and glufosinate-resistant Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) populations in Japanese pear orchards in Japan and their responses to several foliar-applied herbicides*. *Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ*, 54(2), 129-135.
- Idris Ahmed, M. (2021). *Phytochemical screening and antimicrobial activities of stinging nettle (*Urtica dioica* L.) leaf, fruit and root extracts* (Doctoral dissertation, Haramaya University).
- lordache, A. M., Nechita, C., Podea, P., Şuvar, N. S., Mesaroş, C., Voica, C., ... & Culea, M. (2023). *Comparative Amino Acid Profile and Antioxidant Activity in Sixteen Plant Extracts from Transylvania, Romania*. *Plants*, 12(11), 2183.

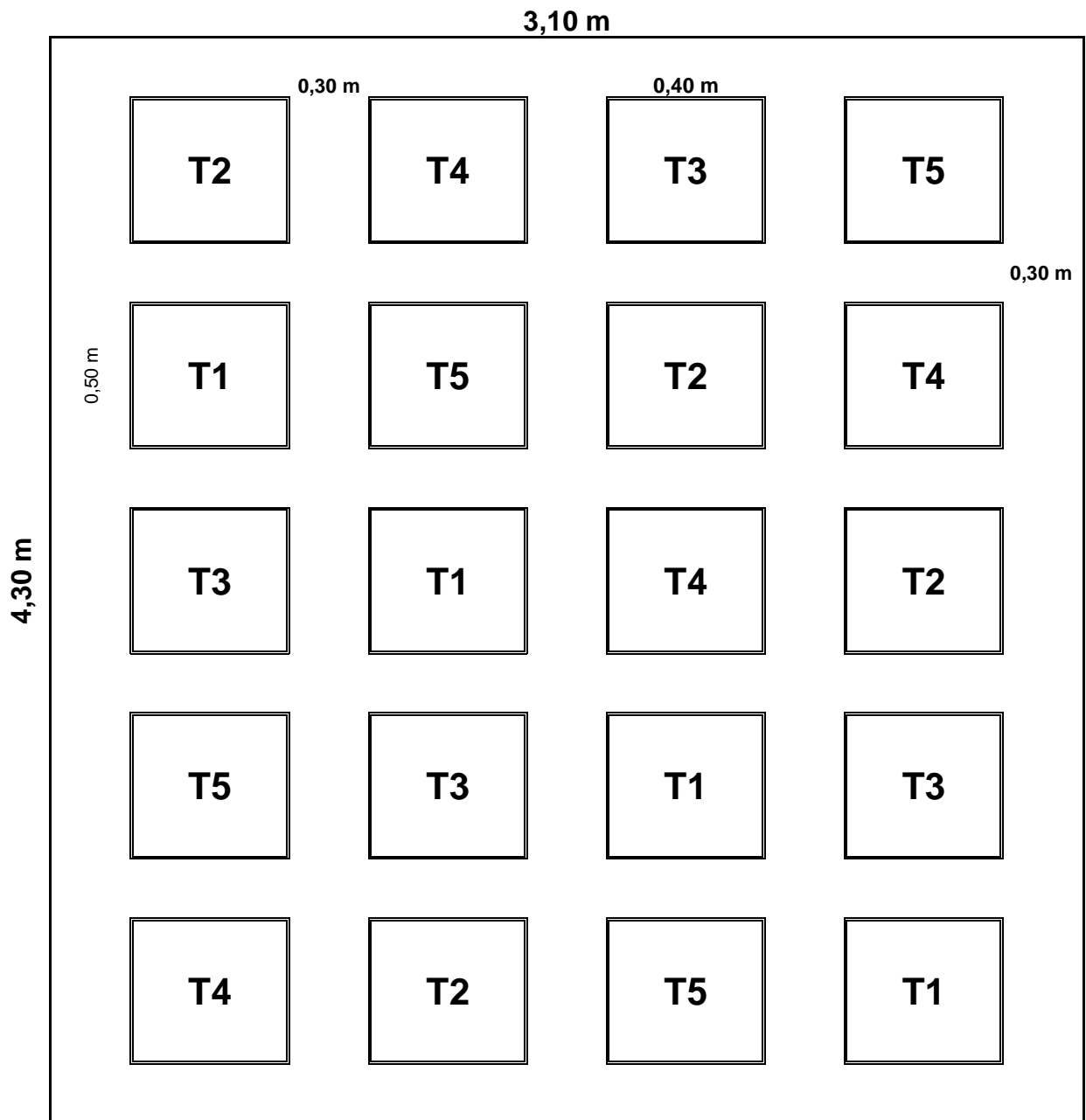
- Isman, M. (2019). *Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world*. Annual Review of Entomology, 64, 295-311.
- Jones, E. A., Contreras, D. J., & Everman, W. J. (2021). *Digitaria ciliaris, Digitaria ischaemum, and Digitaria sanguinalis*. In Biology and Management of Problematic Crop Weed Species (pp. 173-195). Academic Press.
- Khan, M. I. (2015). *Técnicas ecológicas de control de malezas (extracto alelopático) en el cultivo de trigo*. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 6(6), 1307-1316.
- Kremer, R. J. (2019). *Bioherbicides and nanotechnology: Current status and future trends*. Nano-biopesticides today and future perspectives, 353-366.
- Larran, A. S. (2018). *Resistencia a herbicidas en poblaciones del género Amaranthus: mecanismos moleculares y expresión de alelos resistentes en plantas de A. thaliana y trigo* (Doctoral Thesis, Universidad Nacional del Rosario).
- Ley de Comercialización y Empleo de Plaguicidas (2018), Gobierno del Ecuador. Quito, Ecuador. Codificación 11. Registro Oficial Suplemento 315 de 16-abr.-2020.
- Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria. (2018). Gobierno del Ecuador. Quito, Ecuador. Registro Oficial N° 583/2019.
- Liu, B., & Bruch, R. (2020). *Weed detection for selective spraying: a review*. Current Robotics Reports, 1, 19-26.
- Lopes, L. B., Pedreira, B. C., Eckstein, C., dos Santos, L. L., & Peruffo, R. G. (2020). *Gastrointestinal nematode egg counts and performance of beef cattle raised on open pastures and silvopastoral systems in Brazil*. Agroforestry Systems, 94(5), 1693-1700.
- Lorenzo, P., Guilherme, R., Barbosa, S., Ferreira, A. J., & Galhano, C. (2022). *Agri-food waste as a method for weed control and soil amendment in crops*. Agronomy, 12(5), 1184.
- Maričić, B., Radman, S., Romić, M., Perković, J., Major, N., Urlič, B., ... & Ban, S. G. (2021). *Stinging Nettle (Urtica dioica L.) as an aqueous plant-based extract fertilizer in green bean (Phaseolus vulgaris L.) sustainable agriculture*. Sustainability, 13(7), 4042.

- Mekky, M. S., Hassanien, A. M. A., Kamel, E. M., & Ismail, A. E. A. (2019). *Allelopathic effect of Ocimum basilicum L. extracts on weeds and some crops and its possible use as new crude bio-herbicide*. Annals of Agricultural Sciences, 64(2), 211-221.
- Mendez, G. S. (2019). *Evaluación de extractos vegetales con potencial para el control de malezas en agricultura orgánica* (Bachelor's thesis, Universidad Técnica Estatal de Quevedo).
- Mennan, H., Jabran, K., Zandstra, B. H., & Pala, F. (2020). *Non-chemical weed management in vegetables by using cover crops: A review*. Agronomy, 10(2), 257.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2018). Gobierno Nacional. Quito, Ecuador. Plan Estratégico Institucional del MAG.
- Molina, J. A. L. (2021). *Los aceites esenciales y su actividad biológica: Una propuesta didáctica*. Anales de Química de la RSEQ, (2), 165-170.
- Nakka, S., Jugulam, M., Peterson, D., & Asif, M. (2019). *Herbicide resistance: Development of wheat production systems and current status of resistant weeds in wheat cropping systems*. The Crop Journal, 7(6), 750-760.
- Nandula, V. K. (2019). *Herbicide resistance traits in maize and soybean: current status and future outlook*. Plants, 8(9), 337.
- Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo (2018). Gobierno Nacional. Quito, Ecuador. "Plan Nacional de Desarrollo 2019-2022 Toda una Vida" de Ecuador.
- Ormaza Molina, A. K. (2017). *Capacidad de inhibición de cuatro extractos de arvenses y mucílago de cacao Theobroma cacao, sobre la Rottboellia exaltata y Eleusine indica* (Bachelor's thesis, Quevedo-UTEQ).
- Osunkoya, O. O., Froese, J. G., Nicol, S., Perrett, C., Moore, K., Callander, J., & Campbell, S. (2019). *A risk-based inventory of invasive plant species of Queensland, Australia: Regional, ecological and floristic insights*. Austral Ecology, 44(7), 1123-1138.
- Pantović, J. G., & Sečanski, M. (2023). *Weed Control in Organic Farming*. Contemporary Agriculture, 72(1-2), 43-56.
- Parra, F. I., Tamayo, L. M., Marroquín, J. Á., & Cantúa, J. A. (2022). *Evaluación de diferentes dosis de herbicidas naturales para el control de malezas del Valle*

- del Yaqui, Sonora*. Sociedad Mexicana de la Ciencia de la Maleza. Mesa directiva 2020-2022, 95, 120.
- Patel, J., Hall, N. D., Harris, J. R., & McElroy, J. S. (2023). *Morphological and metabolic differences between turfgrass and row-crop biotypes of goosegrass (Eleusine indica)*. Crop Science.
- Perkins, C. M., Mueller, T. C., & Steckel, L. E. (2021). *Survey of glyphosate-resistant junglerice (Echinochloa colona) accessions in dicamba-resistant crops in Tennessee*. Weed Technology, 35(3), 412-418.
- Prajapati, S., Kumar, N., Kumar, S., & Maurya, S. (2020). *Biological control a sustainable approach for plant diseases management: A review*. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 9(2), 1514-1523.
- Rahman, M. M., & Sultana, R. S. (2021). *Anatomy on leaf blade of Eleusine indica L. (Gramineae): a Study on kranz grass*. EBAUB J, 3, 1-8.
- Rincón, J. E. (2020). *Caracterización de la flora arvense asociada a plantas pratenses en la Granja Experimental Villa Marina, municipio de Pamplonita departamento Norte de Santander*. Universidad de Pamplona
- Roberts, J., Florentine, S., Fernando, W. D., & Tennakoon, K. U. (2022). *Achievements, developments and future challenges in the field of bioherbicides for weed control: A global review*. Plants, 11(17), 2242.
- Rugare, J. T., Pieterse, P. J., & Mabasa, S. (2021). *Allelopathic potential of green manure cover crops on germination and early seedling development of goose grass [Eleusine indica (L.) Gaertn] and blackjack (Bidens pilosa L.)*. International Journal of Agronomy, 2021, 1-13.
- Ruttledge, A., & Chauhan, B. S. (2020). *Climate change and weeds of cropping systems*. Crop protection under changing climate, 57-84.
- Samakar, B., Mehri, S., & Hosseinzadeh, H. (2022). *A review of the effects of Urtica dioica (nettle) in metabolic syndrome*. Iranian Journal of Basic Medical Sciences, 25(5), 543.
- Shekhawat, K., Rathore, S. S., & Chauhan, B. S. (2020). *Weed management in dry direct-seeded rice: A review on challenges and opportunities for sustainable rice production*. Agronomy, 10(9), 1264.
- Simić, M., Brankov, M., Babić, M., Dolijanović, Ž., Kresović, B., & Dragičević, V. (2021). *Influences of herbicide treatments and row spaces on the maize growth and yield parameters*. In Book of Abstracts, 12th International

- scientific agriculture symposium" Agrosym 2021"*, Jahorina, 07-10 October 2021 (pp. 230-230). East Sarajevo: Faculty of Agriculture.
- Siri Monasterio, J. I. (2019). *La flora arvense en el área agrícola de la región pampeana central*. (Bachelor's thesis, Universidad Nacional de La Pampa)
- Spricigo, H. (2023). *Plantas daninhas importantes na cultura do algodão transgênico: manejo de Eleusine indica (L) Gärtner e Spermacoce latifolia Aublet*. Federal University of São Carlos
- Takano, H. K., & Dayan, F. E. (2020). *Glufosinate-ammonium: a review of the current state of knowledge*. *Pest Management Science*, 76(12), 3911-3925.
- Takano, H. K., Ovejero, R. F. L., Belchior, G. G., Maymone, G. P. L., & Dayan, F. E. (2020). *ACCCase-inhibiting herbicides: mechanism of action, resistance evolution and stewardship*. *Scientia Agricola*, 78.
- Vera, F. H. (2019). *Alternativas agroecológicas para el manejo de arvenses en competencia específica con maíz (Zea mays L.)*. (Bachelor's thesis, Babahoyo: Universidad Técnica de Babahoyo).
- Yang, J., Dong, J., Liu, L., Zhao, M., Zhang, X., Li, X., ... & Ge, Q. (2023). *A robust and unified land surface phenology algorithm for diverse biomes and growth cycles in China by using harmonized Landsat and Sentinel-2 imagery*. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 202, 610-636.
- Yauqui, E. V. (2023). *Evaluación de herbicidas de pre y postemergencia temprana en el cultivo de maíz (Zea mays) en el Cantón Vinces, Provincia de Los Ríos* (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Babahoyo).
- Zhang, C., Yu, C. J., Yu, Q., Guo, W. L., Zhang, T. J., & Tian, X. S. (2021). *Evolution of multiple target-site resistance mechanisms in individual plants of glyphosate-resistant Eleusine indica from China*. *Pest Management Science*, 77(10), 4810-4817.

ANEXOS



Anexo N°1: Croquis de campo

Elaborado por: Alvarado, 2024



Anexo N°2: *Eleusine indica* en estado silvestre

Fuente: Alvarado, 2024

Anexo N°3. Análisis estadístico de la altura (cm) de *Eleusine indica* (15 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial

Trat.	Descripción	Repeticiones				Suma	Promedio
		1	2	3	4		
1	Vinagre + zumo de limón	6,60	7,20	6,90	6,30	27,00	6,75
2	Alcanfor + zumo de limón	7,20	7,60	6,40	6,80	28,00	7,00
3	Extracto de ortiga	7,10	7,20	6,30	7,80	28,40	7,10
4	Glifosato	7,40	6,60	7,10	6,90	28,00	7,00
5	Testigo absoluto	7,80	6,80	7,90	6,50	29,00	7,25

Altura (15 días)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura (15 días)	20	0,11	0,00	7,56

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,53	4	0,13	0,47	0,7551
Tratamiento	0,53	4	0,13	0,47	0,7551
Error	4,22	15	0,28		
Total	4,75	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,15814

Error: 0,2813 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Testigo absoluto	7,25	4	0,27 A
Extracto de ortiga	7,10	4	0,27 A
Glifosato	7,00	4	0,27 A
Alcanfor + zumo de limón	7,00	4	0,27 A
Vinagre + zumo de limón	6,75	4	0,27 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

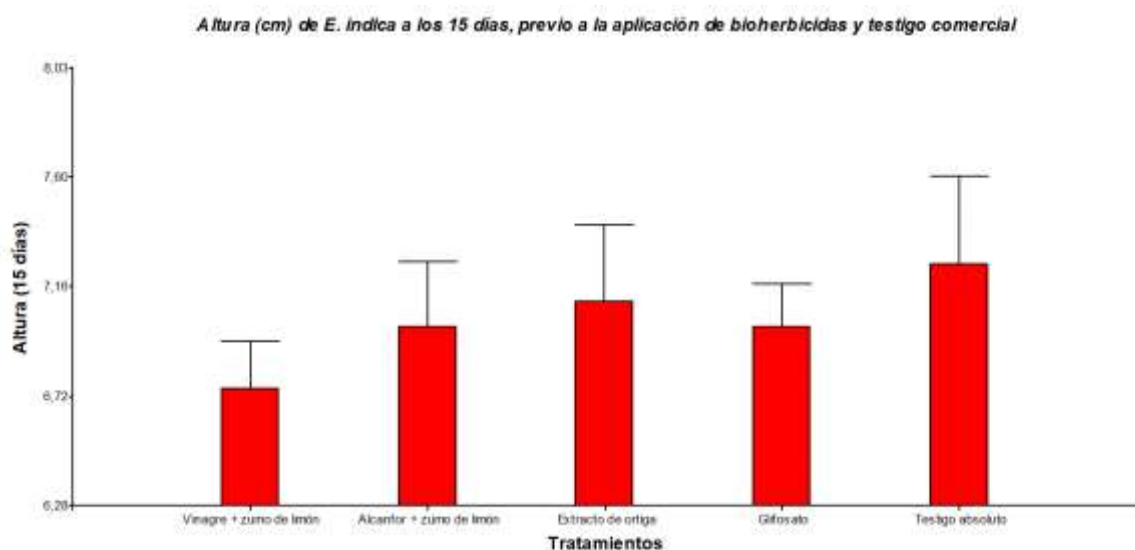


Figura N°1. Representación gráfica de la altura de *E. indica* (15 días)

Elaborado por: Alvarado, 2024

Anexo N°4. Análisis estadístico de la altura (cm) de *Eleusine indica* (45 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial

Trat.	Descripción	Repeticiones				Suma	Promedio
		1	2	3	4		
1	Vinagre + zumo de limón	28,40	26,30	26,90	25,20	106,80	26,70
2	Alcanfor + zumo de limón	19,10	17,40	18,90	19,30	74,70	18,68
3	Extracto de ortiga	29,50	30,10	28,70	28,60	116,90	29,23
4	Glifosato	16,90	14,60	12,80	15,60	59,90	14,98
5	Testigo absoluto	49,20	50,10	47,30	54,80	201,40	50,35

Altura (45 días)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura (45 días)	20	0,98	0,98	6,43

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3037,27	4	759,32	234,59	<0,0001
Tratamiento	3037,27	4	759,32	234,59	<0,0001
Error	48,55	15	3,24		
Total	3085,83	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=3,92837

Error: 3,2368 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Glifosato	14,98	4	0,90	A
Alcanfor + zumo de limón	18,68	4	0,90	A
Vinagre + zumo de limón	26,70	4	0,90	B
Extracto de ortiga	29,23	4	0,90	B
Testigo absoluto	50,35	4	0,90	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Altura (cm) de E. indica a los 45 días, al momento de la segunda aplicación de bioherbicidas y testigo comercial

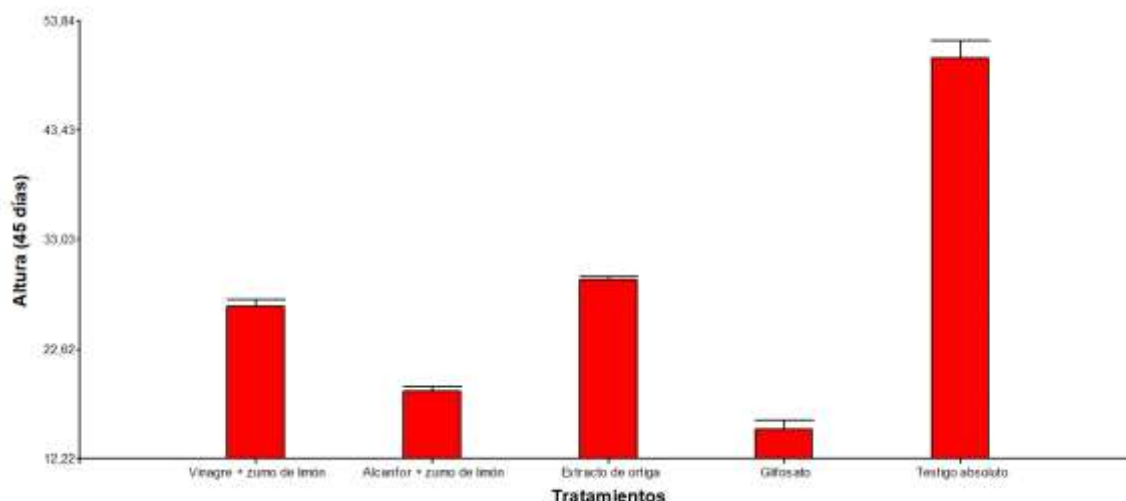


Figura N°2. Representación gráfica de la altura de *E. indica* (45 días)

Elaborado por: Alvarado, 2024

Anexo N°5. Análisis estadístico del número de hojas de *Eleusine indica* (15 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial

Trat.	Descripción	Repeticiones				Suma	Promedio
		1	2	3	4		
1	Vinagre + zumo de limón	4,00	5,00	6,00	5,00	20,00	5,00
2	Alcanfor + zumo de limón	4,00	6,00	5,00	5,00	20,00	5,00
3	Extracto de ortiga	5,00	5,00	6,00	4,00	20,00	5,00
4	Glifosato	4,00	5,00	5,00	4,00	18,00	4,50
5	Testigo absoluto	4,00	5,00	4,00	5,00	18,00	4,50

Hojas (15 días)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Hojas (15 días)	20	0,13	0,00	15,21

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,20	4	0,30	0,56	0,6935
Tratamientos	1,20	4	0,30	0,56	0,6935
Error	8,00	15	0,53		
Total	9,20	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,59460

Error: 0,5333 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Testigo absoluto	4,50	4	0,37 A
Glifosato	4,50	4	0,37 A
Vinagre + zumo de limón	5,00	4	0,37 A
Alcanfor + zumo de limón	5,00	4	0,37 A
Extracto de ortiga	5,00	4	0,37 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Número de hojas en *E. indica* a los 15 días, previo a la aplicación de bioherbicidas y testigo comercial

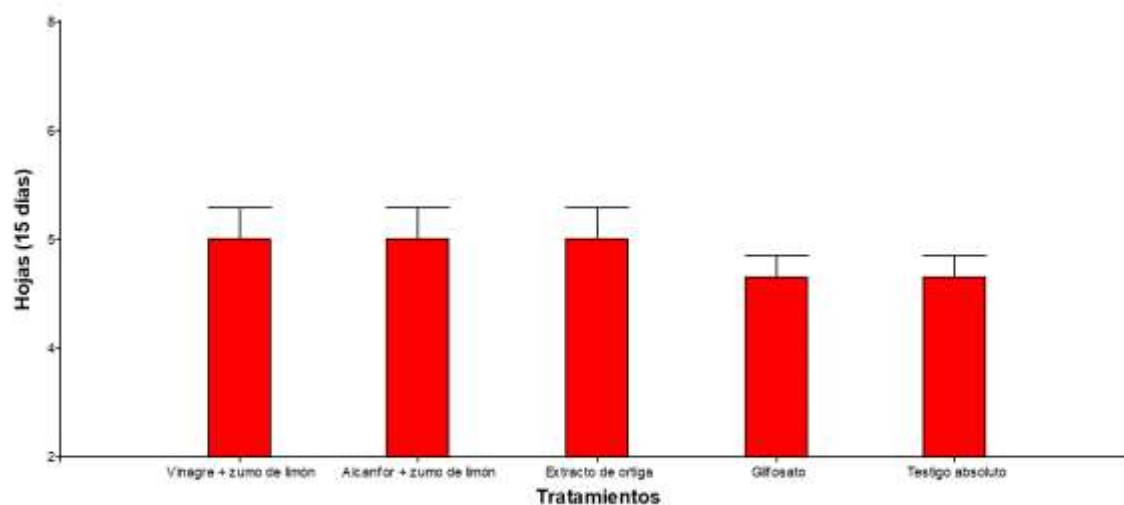


Figura N°3. Representación gráfica del número de hojas de *E. indica* (15 días)

Elaborado por: Alvarado, 2024

Anexo N°6. Análisis estadístico del número de hojas de *Eleusine indica* (45 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial

Trat.	Descripción	Repeticiones				Suma	Promedio
		1	2	3	4		
1	Vinagre + zumo de limón	7,00	6,00	6,00	5,00	24,00	6,00
2	Alcanfor + zumo de limón	6,00	7,00	5,00	6,00	24,00	6,00
3	Extracto de ortiga	15,00	13,00	11,00	16,00	55,00	13,75
4	Glifosato	6,00	5,00	4,00	5,00	20,00	5,00
5	Testigo absoluto	31,00	24,00	28,00	34,00	117,00	29,25

Hojas (45 días)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Hojas (45 días)	20	0,96	0,95	18,70

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1686,50	4	421,63	83,77	<0,0001
Tratamientos	1686,50	4	421,63	83,77	<0,0001
Error	75,50	15	5,03		
Total	1762,00	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=4,89869

Error: 5,0333 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Glifosato	5,00	4	1,12	A
Vinagre + zumo de limón	6,00	4	1,12	A
Alcanfor + zumo de limón	6,00	4	1,12	A
Extracto de ortiga	13,75	4	1,12	B
Testigo absoluto	29,25	4	1,12	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Número de hojas en *E. indica* a los 45 días, al momento de la segunda aplicación de bioherbicidas y testigo comercial

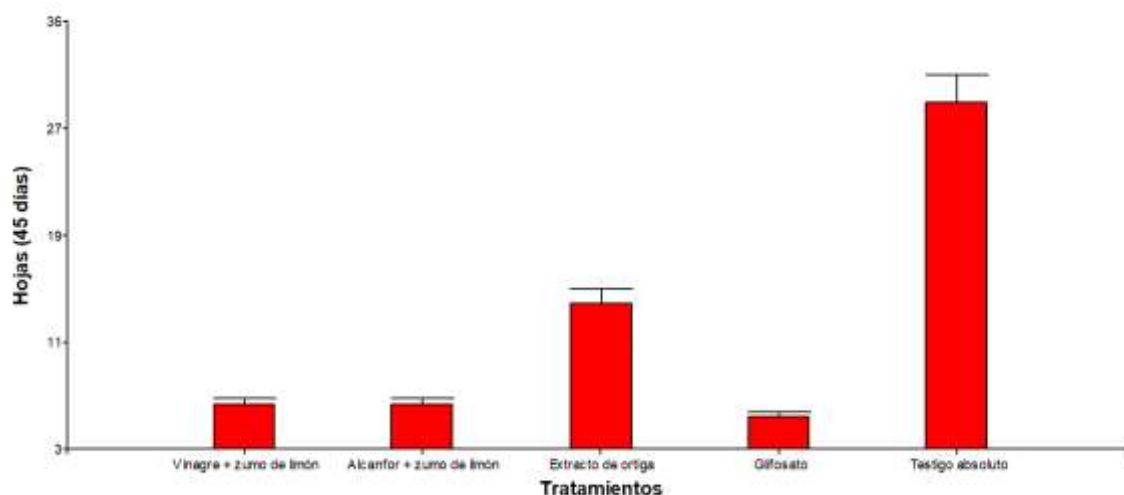


Figura N°4. Representación gráfica del número de hojas de *E. indica* (45 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial

Elaborado por: Alvarado, 2024

Anexo N°7. Análisis estadístico del daño foliar (%) en *Eleusine indica* (25 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial

Trat.	Descripción	Repeticiones				Suma	Promedio
		1	2	3	4		
1	Vinagre + zumo de limón	78,19	76,17	86,33	80,22	320,91	80,23
2	Alcanfor + zumo de limón	94,74	93,96	94,22	94,28	377,20	94,30
3	Extracto de ortiga	76,22	64,74	75,86	75,84	292,66	73,17
4	Glifosato	97,44	98,93	96,33	95,60	388,30	97,08
5	Testigo absoluto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Daño foliar (25 días)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Daño foliar (25 días)	20	0,99	0,99	4,72

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	25330,76	4	6332,69	596,64	<0,0001
Tratamientos	25330,76	4	6332,69	596,64	<0,0001
Error	159,21	15	10,61		
Total	25489,96	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=7,11359

Error: 10,6139 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Glifosato	97,08	4	1,63	A
Alcanfor + zumo de limón	94,30	4	1,63	A
Vinagre + zumo de limón	80,23	4	1,63	B
Extracto de ortiga	73,17	4	1,63	B
Testigo absoluto	0,00	4	1,63	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

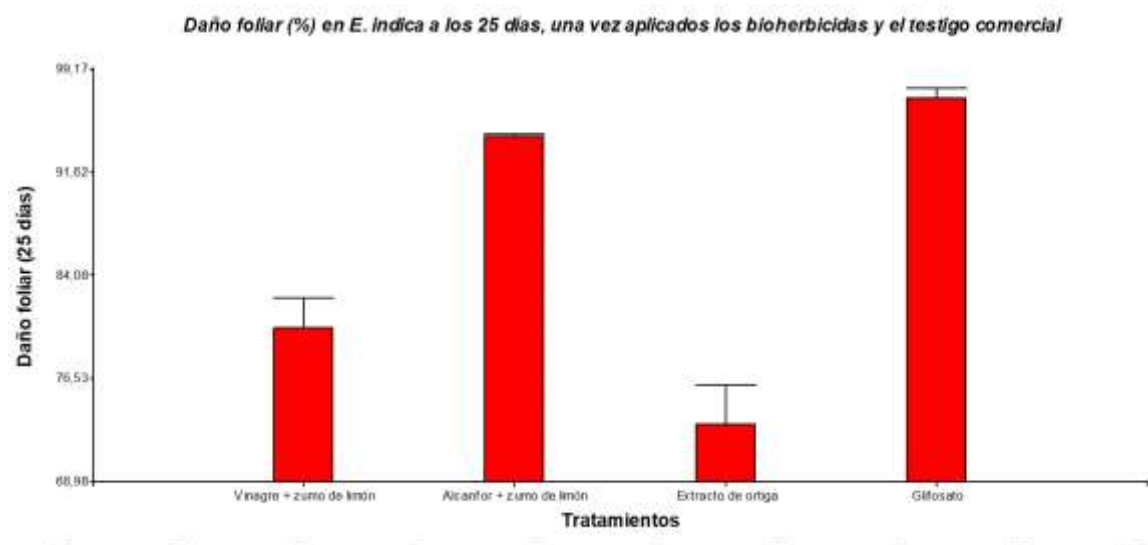


Figura N°5. Representación gráfica del porcentaje de daño foliar en *E. indica* (25 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial

Elaborado por: Alvarado, 2024

Anexo N°8. Análisis estadístico del daño foliar (%) en *Eleusine indica* (55 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial

Trat.	Descripción	Repeticiones				Suma	Promedio
		1	2	3	4		
1	Vinagre + zumo de limón	92,49	93,56	92,98	93,02	372,05	93,01
2	Alcanfor + zumo de limón	93,33	94,74	95,60	93,41	377,08	94,27
3	Extracto de ortiga	86,33	87,09	88,12	88,26	349,80	87,45
4	Glifosato	97,17	98,93	99,54	99,88	395,52	98,88
5	Testigo absoluto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Daño foliar (55 días)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Daño foliar (55 días)	20	1,00	1,00	1,15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	28182,62	4	7045,65	9574,57	<0,0001
Tratamientos	28182,62	4	7045,65	9574,57	<0,0001
Error	11,04	15	0,74		
Total	28193,66	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,87306

Error: 0,7359 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Glifosato	98,88	4	0,43	A
Alcanfor + zumo de limón	94,27	4	0,43	B
Vinagre + zumo de limón	93,01	4	0,43	B
Extracto de ortiga	87,45	4	0,43	C
Testigo absoluto	0,00	4	0,43	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

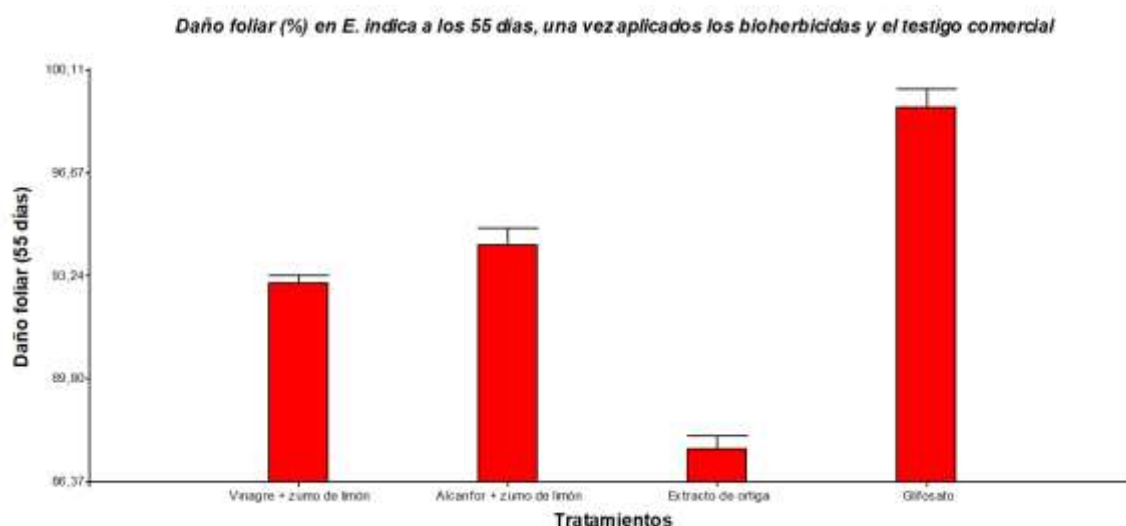


Figura N°6. Representación gráfica del porcentaje de daño foliar en *E. indica* (55 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial

Elaborado por: Alvarado, 2024

Anexo N°9. Análisis estadístico de la tasa de floración en *Eleusine indica* (15 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial

Trat.	Descripción	Repeticiones				Suma	Promedio
		1	2	3	4		
1	Vinagre + zumo de limón	1,00	2,00	1,00	1,00	5,00	1,25
2	Alcanfor + zumo de limón	1,00	1,00	2,00	2,00	6,00	1,50
3	Extracto de ortiga	1,00	2,00	1,00	1,00	5,00	1,25
4	Glifosato	1,00	1,00	2,00	2,00	6,00	1,50
5	Testigo absoluto	2,00	1,00	1,00	2,00	6,00	1,50

Floración (15 días)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Floración (15 días)	20	0,06	0,00	39,12

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,30	4	0,08	0,25	0,9052
Tratamientos	0,30	4	0,08	0,25	0,9052
Error	4,50	15	0,30		
Total	4,80	19			

Trat.	Descripción	Repeticiones				Suma	Promedio
		1	2	3	4		
1	Vinagre + zumo de limón	1,00	1,41	1,00	1,00	4,41	1,10
2	Alcanfor + zumo de limón	1,00	1,00	1,41	1,41	4,83	1,21
3	Extracto de ortiga	1,00	1,41	1,00	1,00	4,41	1,10
4	Glifosato	1,00	1,00	1,41	1,41	4,83	1,21
5	Testigo absoluto	1,41	1,00	1,00	1,41	4,83	1,21

Análisis de la varianza (flores/planta) con ajuste \sqrt{y}

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Flores/planta (aj)	20	0,06	0,00	19,29

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,05	4	0,01	0,25	0,9052
Tratamientos	0,05	4	0,01	0,25	0,9052
Error	0,76	15	0,05		
Total	0,81	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,19595

Error: 0,3000 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Extracto de ortiga	1,25	4	0,27 A
Vinagre + zumo de limón	1,25	4	0,27 A
Testigo absoluto	1,50	4	0,27 A
Glifosato	1,50	4	0,27 A
Alcanfor + zumo de limón	1,50	4	0,27 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tasa de floración de *E. indica* a los 15 días, previo a la aplicación de bioherbicidas y testigo comercial

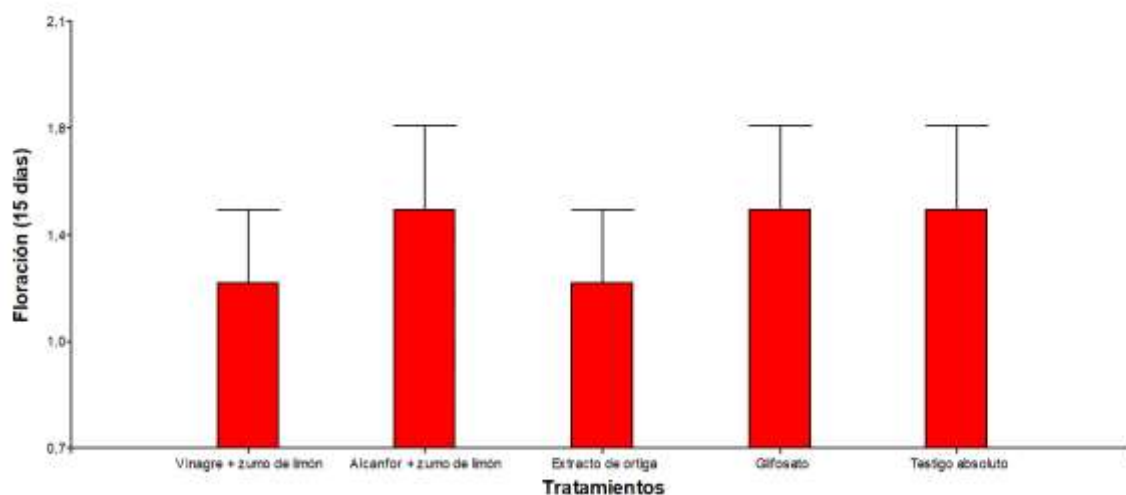


Figura N°7. Representación gráfica de la tasa de floración en *E. indica* (15 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial

Elaborado por: Alvarado, 2024

Anexo N°10. Análisis estadístico de la tasa de floración en *Eleusine indica* (45 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial

Trat.	Descripción	Repeticiones				Suma	Promedio
		1	2	3	4		
1	Vinagre + zumo de limón	4,00	4,00	3,00	4,00	15,00	3,75
2	Alcanfor + zumo de limón	3,00	2,00	1,00	1,00	7,00	1,75
3	Extracto de ortiga	4,00	2,00	3,00	2,00	11,00	2,75
4	Glifosato	2,00	2,00	1,00	0,00	5,00	1,25
5	Testigo absoluto	9,00	6,00	8,00	9,00	32,00	8,00

Floración (45 días)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Floración (45 días)	20	0,89	0,85	28,57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	116,00	4	29,00	29,00	<0,0001
Tratamientos	116,00	4	29,00	29,00	<0,0001
Error	15,00	15	1,00		
Total	131,00	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,18349

Error: 1,0000 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Glifosato	1,25	4	0,50	A
Alcanfor + zumo de limón	1,75	4	0,50	A B
Extracto de ortiga	2,75	4	0,50	A B
Vinagre + zumo de limón	3,75	4	0,50	B
Testigo absoluto	8,00	4	0,50	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tasa de floración de *E. indica* a los 45 días, al momento de la segunda aplicación de bioherbicidas y testigo comercial

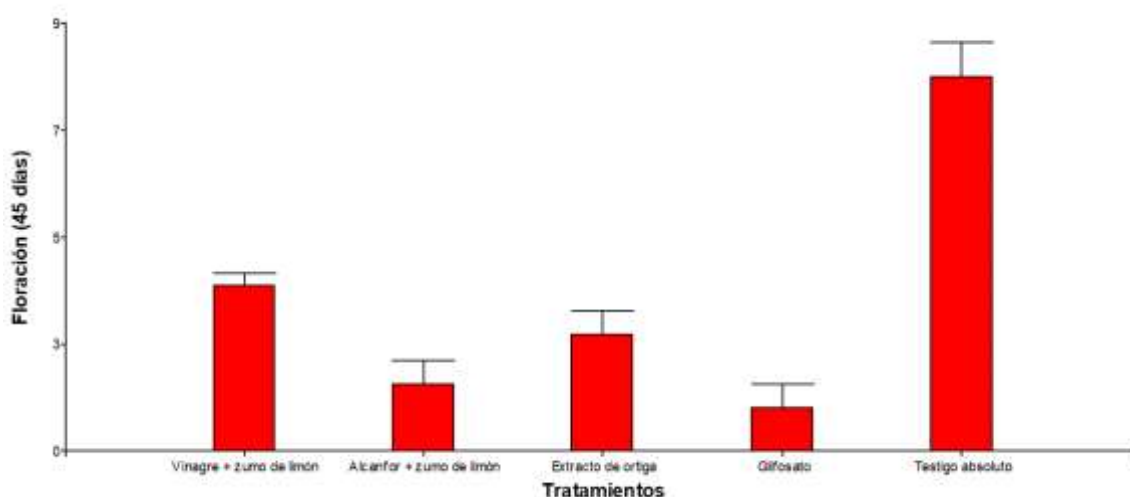


Figura N°8. Representación gráfica de la tasa de floración en *E. indica* (45 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial

Elaborado por: Alvarado, 2024

Anexo N°11. Análisis estadístico de la biomasa (kg) en *Eleusine indica* (55 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial

Trat.	Descripción	Repeticiones				Suma	Promedio
		1	2	3	4		
1	Vinagre + zumo de limón	0,23	0,24	0,23	0,31	1,01	0,25
2	Alcanfor + zumo de limón	0,19	0,16	0,19	0,17	0,71	0,18
3	Extracto de ortiga	0,20	0,19	0,20	0,18	0,77	0,19
4	Glifosato	0,12	0,14	0,12	0,14	0,52	0,13
5	Testigo absoluto	0,42	0,44	0,49	0,49	1,83	0,46

Biomasa (55 días)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Biomasa 55 días (kg)	20	0,96	0,96	10,49

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,26	4	0,07	102,17	<0,0001
Tratamientos	0,26	4	0,07	102,17	<0,0001
Error	0,01	15	6,5E-04		
Total	0,27	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,05550

Error: 0,0006 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
Glifosato	0,13	4	0,01	A	
Alcanfor + zumo de limón	0,18	4	0,01	A	B
Extracto de ortiga	0,19	4	0,01		B
Vinagre + zumo de limón	0,25	4	0,01		C
Testigo absoluto	0,46	4	0,01		D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Biomasa (kg) en 5 plantas de *E. indica* a los 55 días, después de la segunda aplicación de bioherbicidas y testigo comercial

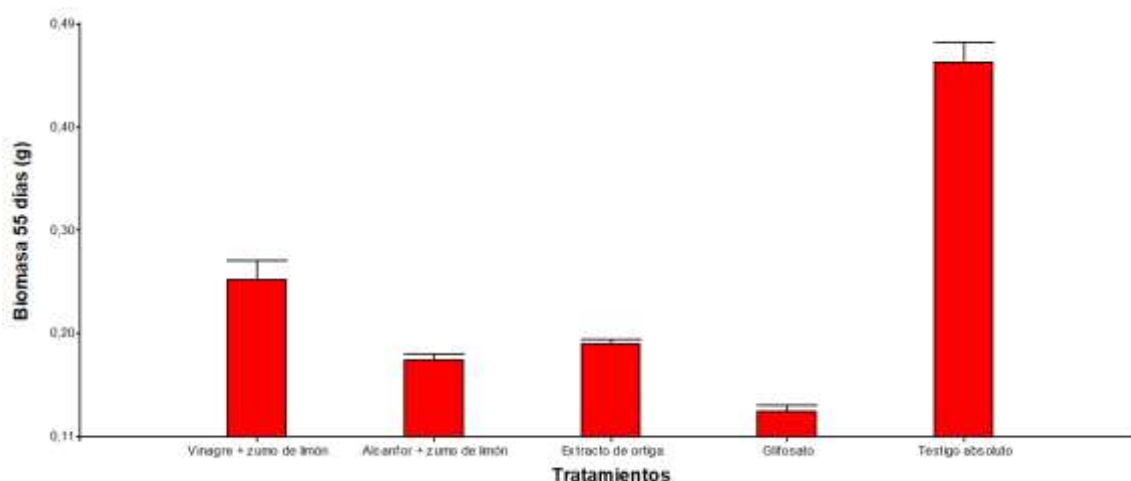


Figura N°9. Representación gráfica de la biomasa en gramos de *E. indica* (55 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial

Elaborado por: Alvarado, 2024

Anexo N°12. Análisis estadístico de la eficacia de control de Abbot (%) en *Eleusine indica* (55 días) frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial con respecto al testigo absoluto

Trat.	Descripción	Repeticiones				Suma	Promedio
		1	2	3	4		
1	Vinagre + zumo de limón	89,80	90,89	90,30	90,34	361,33	90,33
2	Alcanfor + zumo de limón	90,66	92,11	92,99	90,74	366,49	91,62
3	Extracto de ortiga	83,48	84,26	85,32	85,46	338,51	84,63
4	Glifosato	94,60	96,40	97,03	97,38	385,41	96,35
5	Testigo absoluto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Eficacia de control de Abbot (55 días)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Eficacia de control (55 días)	20	1,00	1,00	1,21

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	26624,21	4	6656,05	8591,38	<0,0001
Tratamientos	26624,21	4	6656,05	8591,38	<0,0001
Error	11,62	15	0,77		
Total	26635,84	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,92189

Error: 0,7747 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Glifosato	96,35	4	0,44	A
Alcanfor + zumo de limón	91,63	4	0,44	B
Vinagre + zumo de limón	90,33	4	0,44	B
Extracto de ortiga	84,63	4	0,44	C
Testigo absoluto	0,00	4	0,44	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

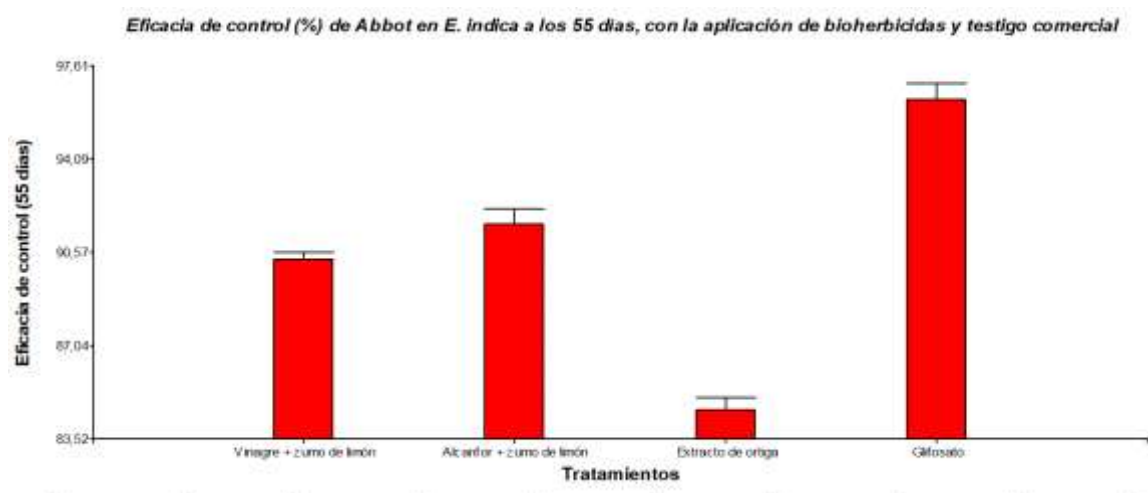


Figura N°10. Representación gráfica del porcentaje de eficacia de control de Abbot (55 días) en *E. indica* frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial con respecto al testigo absoluto

Elaborado por: Alvarado, 2024

Anexo N°13. Promedio de las variables evaluadas en *Eleusine indica* frente a la acción de bioherbicidas y testigo comercial con respecto al testigo absoluto

Tratamientos	Altura (45 días)	Hojas (45 días)	Daño foliar (55 días)	Flores/ planta (45 días)	Biomasa (55 días)	Eficacia de control (55 días)
Vinagre + zumo de limón	26,70 cm	6,00	93,01 %	3,75	0,25 kg	90,33 %
Alcanfor + zumo de limón	18,68 cm	6,00	94,27 %	1,75	0,18 kg	91,63 %
Extracto de ortiga	29,23 cm	13,75	87,45 %	2,75	0,19 kg	84,63 %
Glifosato	14,98 cm	5,00	98,88 %	1,25	0,13 kg	96,35 %
Testigo absoluto	50,35 cm	29,25	0,00 %	8,00	0,46 kg	0,00 %

Elaborado por: Alvarado, 2024



Anexo N°14: Establecimiento del área experimental para condiciones controladas
Elaborado por: Alvarado, 2024



Anexo N°15: Llenado de los tratamientos con el sustrato preparado
Elaborado por: Alvarado, 2024



Anexo N°16: Pesaje de los gramos de semillas de *Eleusine indica* para la siembra
Elaborado por: Alvarado, 2024



Anexo N°17: Siembra de las semillas de *Eleusine indica* en los tratamientos
Elaborado por: Alvarado, 2024



Anexo N°18: Riego de las plantas de *Eleusine indica* en sus distintas etapas fenológicas

Elaborado por: Alvarado, 2024



Anexo N°19: Riego de las plantas de *Eleusine indica* en sus distintas etapas fenológicas

Elaborado por: Alvarado, 2024



Anexo N°20: Riego de las plantas de *Eleusine indica* en sus distintas etapas fenológicas

Elaborado por: Alvarado, 2024



Anexo N°21: Monitoreo del crecimiento de las plantas de *Eleusine indica*

Elaborado por: Alvarado, 2024



Anexo N°22: Último riego de las plantas de *Eleusine indica* previo a la aplicación de los tratamientos

Elaborado por: Alvarado, 2024



Anexo N°23: Toma de datos de altura de planta *Eleusine indica*

Elaborado por: Alvarado, 2024



Anexo N°24: Monitoreo de los tratamientos
Elaborado por: Alvarado, 2024



Anexo N°25: Preparación de los bioherbicidas a partir de vinagre y extracto de ortiga
Elaborado por: Alvarado, 2024



Anexo N°26: Macerado del extracto de ortiga y preparación del bioherbicida a base de alcanfor

Elaborado por: Alvarado, 2024



Anexo N°27: Aplicación de los bioherbicidas

Elaborado por: Alvarado, 2024



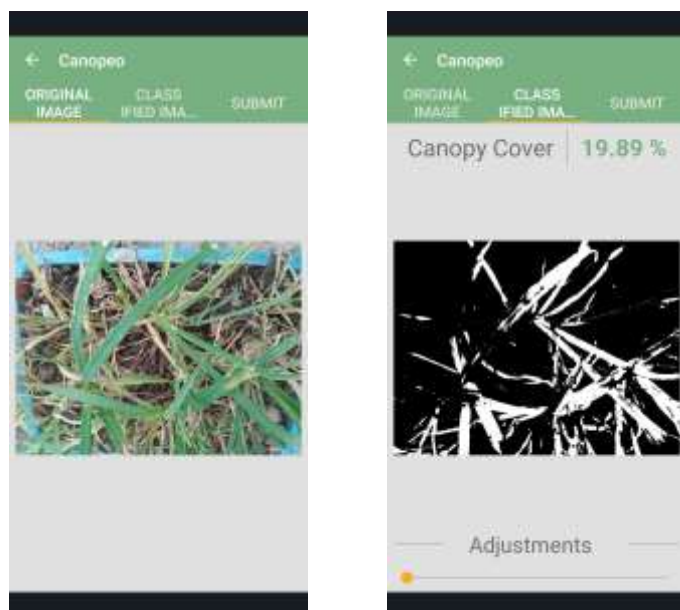
Anexo N°28: Aplicación foliar y primeros efectos de fitotoxicidad

Elaborado por: Alvarado, 2024

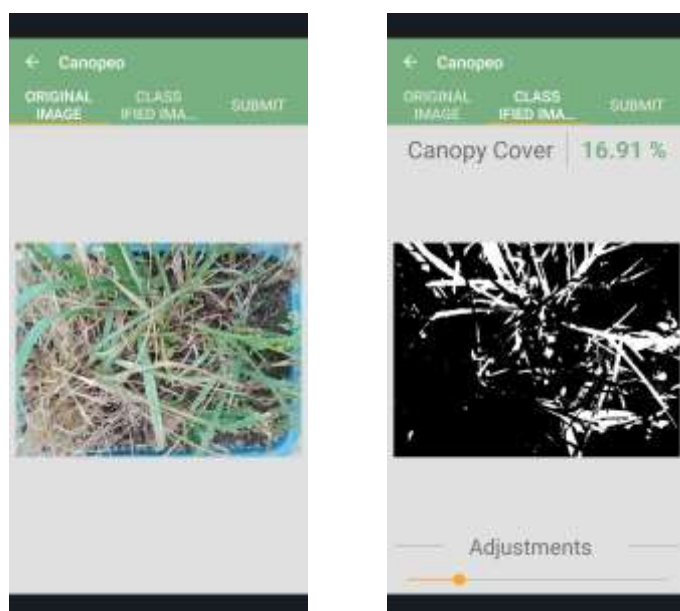


Anexo N°29: Tejido foliar muerto por efectos de primer aplicación y tejido foliar vivo previo a segunda aplicación

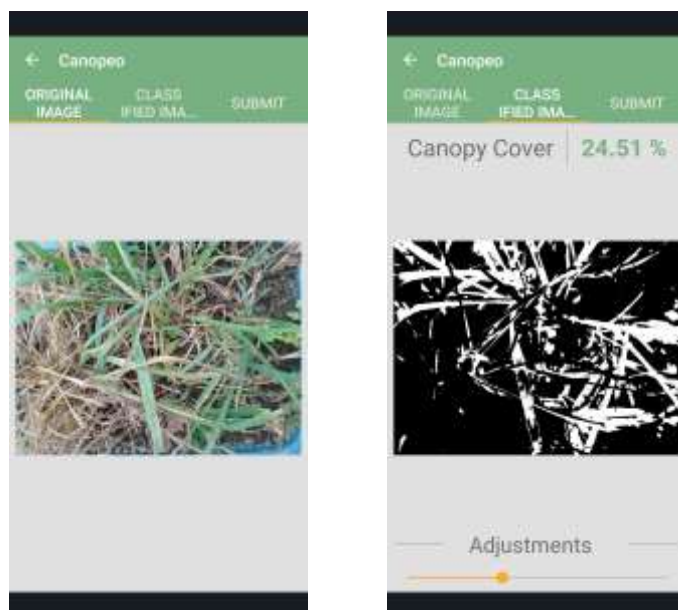
Elaborado por: Alvarado, 2024



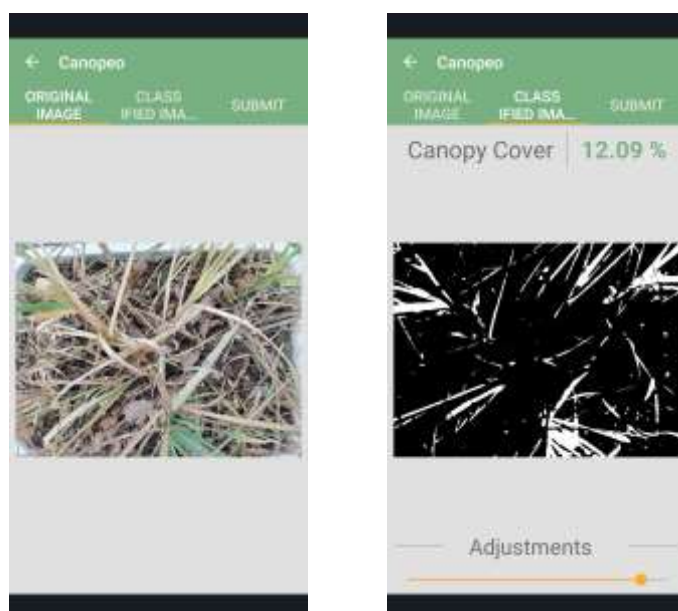
Anexo N°30: Evaluación de efecto de primer aplicación en T1 (vinagre + zumo de limón) mediante reconocimiento de imágenes con el software Canopeo
Elaborado por: Alvarado, 2024



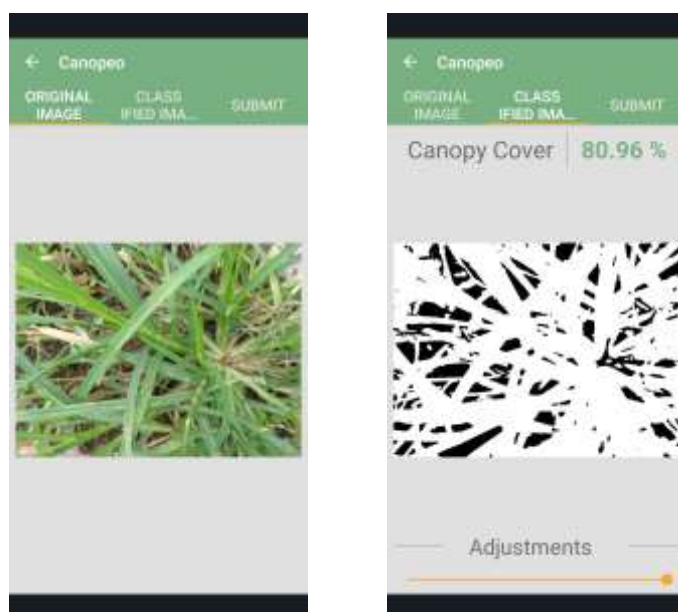
Anexo N°31: Evaluación de efecto de primer aplicación en T2 (alcanfor + zumo de limón) mediante reconocimiento de imágenes con el software Canopeo
Elaborado por: Alvarado, 2024



Anexo N°32: Evaluación de efecto de primer aplicación en T3 (extracto de ortiga) mediante reconocimiento de imágenes con el software Canopeo
 Elaborado por: Alvarado, 2024



Anexo N°33: Evaluación de efecto de primer aplicación en T4 (glifosato) mediante reconocimiento de imágenes con el software Canopeo
 Elaborado por: Alvarado, 2024



Anexo N°34: Evaluación de cobertura en el testigo absoluto (sin aplicación) mediante reconocimiento de imágenes con el software Canopeo

Elaborado por: Alvarado, 2024



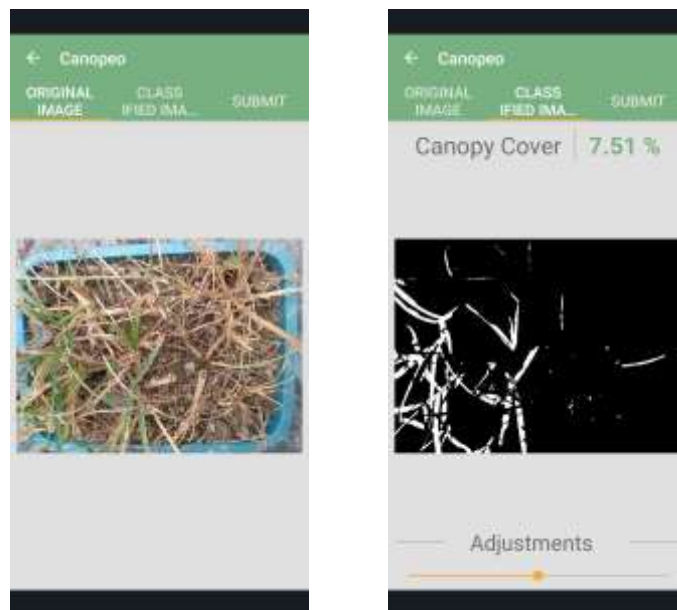
Anexo N°35: Contraste entre planta de *E. indica* sin tratamiento y planta eliminada con el mejor bioherbicida (alcanfor) después del testigo comercial (glifosato)

Elaborado por: Alvarado, 2024



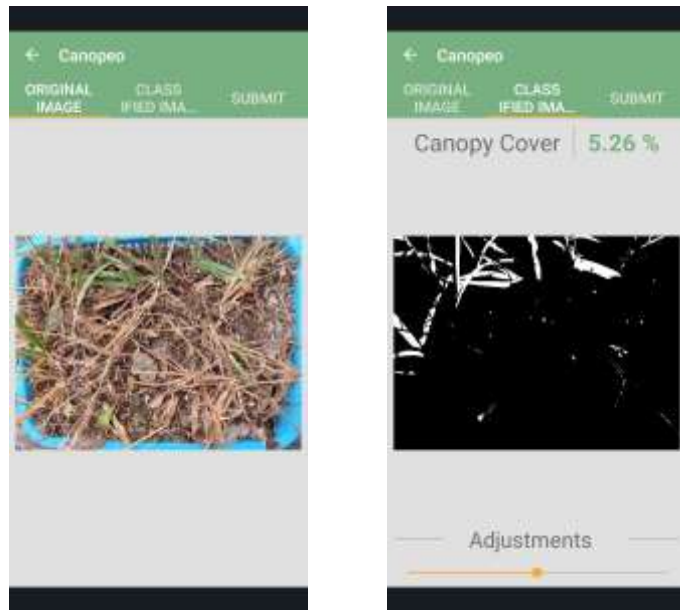
Anexo N°36: Visita del tutor al sitio del ensayo

Elaborado por: Alvarado, 2024



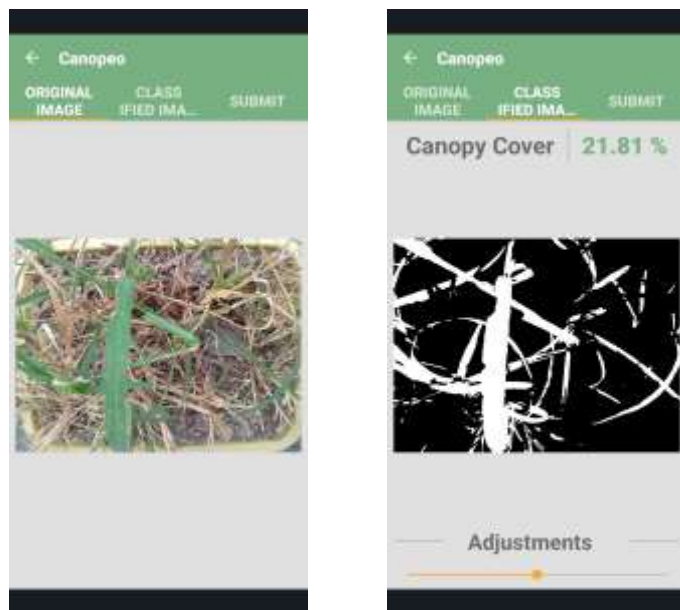
Anexo N°37: Evaluación de efecto de segunda aplicación en T1 (vinagre + zumo de limón) mediante reconocimiento de imágenes con el software Canopeo

Elaborado por: Alvarado, 2024



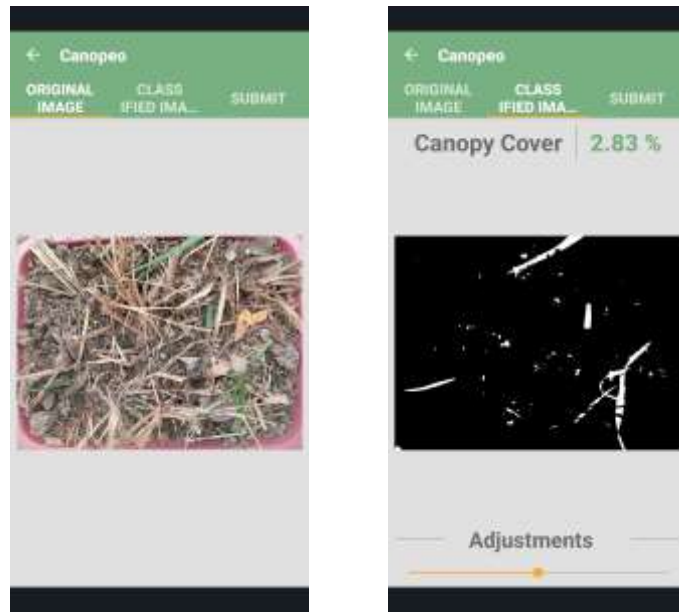
Anexo N°38: Evaluación de efecto de segunda aplicación en T2 (alcanfor + zumo de limón) mediante reconocimiento de imágenes con el software Canopeo

Elaborado por: Alvarado, 2024



Anexo N°39: Evaluación de efecto de segunda aplicación en T3 (extracto de ortiga) mediante reconocimiento de imágenes con el software Canopeo

Elaborado por: Alvarado, 2024



Anexo N°40: Evaluación de efecto de segunda aplicación en T4 (glifosato) mediante reconocimiento de imágenes con el software Canopeo

Elaborado por: Alvarado, 2024



Anexo N°41: Extracción de plantas de *E. indica* de los distintos tratamientos

Elaborado por: Alvarado, 2024



Anexo N°42: Determinación de la biomasa de los tratamientos
Elaborado por: Alvarado, 2024



Anexo N°43: Determinación de la biomasa de los tratamientos
Elaborado por: Alvarado, 2024