

Instituto Tecnológico Superior de Abasolo

Organismo Público Descentralizado del Gobierno del Estado de Guanajuato.



Oxalato de calcio: Un enfoque circular para el control de plagas.

Tesis profesional que para obtener el título de:

Ingeniero Ambiental

Presenta:

Luz Odalys García Ramírez.

Director de Tesis:

M. en E. Erick R. López Almanza

Coasesor de Tesis:

Dr. Oscar Jesús Ortiz Arrazola.

ABASOLO, GTO.

09/07/2025



Autorización de presentación de trabajo de titulación

Se autoriza al estudiante **Luz Odalys García Ramírez** inscrito en la carrera de Ing. Ambiental del Instituto Tecnológico Superior de Abasolo, con número de control **AS21110028**, a defender su proyecto de trabajo de titulación **“Oxalato de calcio: Un enfoque circular para el control de plagas”** ante el comité sinodal asignado.

La presente se expide en Abasolo Guanajuato a los 09 de Julio de 2025.

M. en E. Erick Rodolfo López Almanza

Presidente del sínodo

Dr. Oscar Jesús Ortiz Arrazola

Secretario del sínodo

Dr. Carlos Alberto González Razo

Vocal del sínodo

Dedicatorias

Dedico de manera muy especial a mis padres María Erica Ramírez Blanco y Pablo García Roa que aunque ya no este físicamente presente siempre lo estará en mi vida y corazón, me hubiera gustado mucho que Dios te hubiera permitido leer estas palabras justo a mí. A mi hermano Jesús Fernando García Ramírez, a mi tía Guadalupe García Roa y a mis abuelitos Evangelina Roa Jiménez, y Pablo García Núñez, quienes siempre me han acompañado, cuidado y apoyado a lo largo de toda mi vida, este trabajo es por y para cada de ustedes doy gracias a Dios por tenerlos como familia. A Dios por su infinito amor hacia mí y siempre ser luz en esos momentos de oscuridad.

Agradecimientos

Agradezco infinitamente a Dios quien ha sido mi roca y mi refugio, por siempre estar conmigo y guiar cada paso de mi vida, gracias por siempre bendecirme y por haberme concedido la oportunidad de culminar este trabajo, por todo ese amor incondicional, bendito y alabado seas señor toda la gloria siempre en tu nombre.

Gracias a mi mami y hermano que desde el primer día que comencé con este trabajo me ayudaron y brindaron todo ese apoyo que yo sin pensarlo o pedirlo siempre estuvieron presentes y preguntando en que más podían ayudarme, agradezco todo ese esfuerzo que a pesar de que yo sabía que se encontraban cansados por su trabajo nunca dudaron en ofrecirme su ayuda.

Gracias a mi asesor de tesis, el M.E. Erick R. López Almanza por todo ese apoyo y conocimiento compartido en cada asesoría y duda que me surgía por siempre motivarme en cada mensaje con palabras que me animaban a seguir trabajando en el proyecto de la mejor manera, mi admiración y reconocimiento siempre, a mi coasesor el Dr. Oscar Jesus Ortiz Arrazola por haberme proporcionado los cultivos para mi proyecto y compartirme su conocimiento, explicándome siempre de la mejor manera, por apoyarme en laboratorio y su paciencia en cada duda que me surgía. A la maestra Virginia Ortiz Timoteo por ayudarme en la parte de trabajo estadístico del proyecto gracias por ese tiempo tomado para explicarme y compartirme su conocimiento, siempre resolviendo mis dudas. Aprecio de gran manera todo ese apoyo que me ofrecieron a lo largo de todo el proyecto.

A mi tía Liduvina Ramirez Blanco quien me ayudo enormemente con mis cultivos siempre tomándose el tiempo para ayudarme en cuidarlos cuando yo por cuestiones se me complicaba un poco y prestar ese lugarcito en su casa para yo poder montar mi proyecto.

Laura Arlette González gracias por ayudarme a llenar mi primer costal con suelo agrícola por siempre estar dispuesta a ayudarme doy gracias a Dios por tener tu amistad. Arath Rodríguez R. por haberme motivado en ese momento donde ya no sabía realmente que hacer y se me estaban cerrando las puertas para lograr

terminar este trabajo, gracias por esas palabras tan bonitas y tu apoyo como compañeros de PRAXIS, extendiendo todo mi agradecimiento a cada una de las personas de mi grupo MJVC los quiero muchísimo y realmente hoy en día tienen un lugar muy especial en mi vida y corazón.

Dios bendiga a cada persona mencionada en este apartado y a toda aquella que influyo en mi con alguna palabra de motivación y apoyo en este proyecto de forma tal vez no tan directa, pero sin embargo me mostro apoyo. A cada uno de ustedes mi más profundo y sincero agradecimiento muchísimas gracias.

Resumen

La economía circular es un modelo que a diferencia del modelo tradicional lineal el cual solo se enfoca en la producción y consumo, este busca que los residuos puedan ser utilizados como recursos y reingresen al sistema productivo. Siguiendo este enfoque se desarrolló un proyecto alternativo de economía circular en donde se utilizaron los residuos vegetales generados durante un proceso de electrofitorremediación para su aplicación con fines insecticidas. En el cual se empleó la especie *Zantedeschia aethiopica* (alcatraz), previamente utilizada en el tratamiento de aguas grises. El estudio se enfocó en evaluar la eficacia del oxalato de calcio extraído de esta planta sobre la plaga *Brevicoryne brassicae* (pulgón del brócoli), en comparación con un insecticida comercial.

Se estableció un diseño experimental, utilizando cultivos de *Brassica oleracea* itálica (brócoli), distribuidos en bloques con diferentes tratamientos, dos concentraciones de bioinsecticida a base de oxalato de calcio, un insecticida comercial y un control con agua. La evaluación de los tratamientos se realizó mediante conteos periódicos de la población de insectos. Los resultados mostraron una reducción progresiva en la presencia de *B. brassicae* en las plantas tratadas con el bioinsecticida, siendo la concentración de 0.9 g de oxalato de calcio la más efectiva, con una eficiencia comparable a la del insecticida comercial. El tratamiento con agua (control) no mostró disminución significativa en la población de la plaga.

Se demostró que el oxalato de calcio derivado de *Z. aethiopica* representa una alternativa viable y sostenible para el manejo de plagas agrícolas, integrando principios de economía circular al dar un nuevo uso a residuos vegetales contaminados. Esta estrategia representa una alternativa para mitigar el impacto ambiental, al abordar una de las principales limitantes de los procesos de remediación, el manejo adecuado de los residuos generados una vez concluido el tratamiento. Asimismo, contribuye a disminuir la dependencia del uso de productos químicos en la agricultura.

Palabras Clave: Economía circular, Oxalato de calcio, plaga, bioinsecticida.

Abstract

The circular economy is a model that, unlike the traditional linear model which focuses solely on production and consumption, aims to reintegrate waste into the production system as a valuable resource. Following this approach, an alternative circular economy project was developed that repurposed plant waste from an electro phytoremediation process for insecticidal use. The project employed the species *Zantedeschia aethiopica* (commonly known as calla lily), which had previously been used in greywater treatment. The study focused on evaluating the effectiveness of calcium oxalate extracted from this plant against *Brevicoryne brassicae* (broccoli aphid), in comparison with a commercial insecticide.

An experimental design was implemented using *Brassica oleracea italica* (broccoli) crops, arranged in blocks with different treatments: two concentrations of calcium oxalate-based bioinsecticide, a commercial insecticide, and a water-only control. Results showed a consistent decrease in *B. brassicae* populations on plants treated with the bioinsecticide. The 0.9 gram dose of calcium oxalate proved most effective, with results comparable to those of the commercial insecticide. The water-treated control showed no significant decrease in pest population.

The study demonstrated that calcium oxalate derived from *Z. aethiopica* offers a viable and sustainable alternative for managing agricultural pests, aligning with circular economy principles by giving new value to contaminated plant waste. This strategy helps reduce environmental impact by addressing one of the main limitations of remediation processes: the proper management of post-treatment waste. It also contributes to reducing reliance on chemical inputs in agriculture.

Keywords: Circular economy, calcium oxalate, pest, bioinsecticide.

Índice

INTRODUCCIÓN	1
Capítulo 1: ANTECEDENTES	3
1.1 Economía Circular.	4
1.2 Oxalato de Calcio proveniente de <i>Zantedeschia aethiopica</i> en el marco de un proyecto de economía circular.....	5
1.3 Oxalato de calcio.	10
1.4 Bioinsecticidas.	12
1.5 El pulgón de las brasicas (<i>Brevicoryne brassicae</i>).	15
1.6 <i>Brassica oleracea itálica</i> (Brócoli).....	19
1.7 <i>Zantedeschia aethiopica</i>	21
Capítulo 2: GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	24
2.1 Planteamiento del problema	25
2.2 Justificación	26
2.3 Hipótesis	27
2.4 Objetivos.....	27
2.4.1 Objetivo general	27
2.4.2 Objetivos específicos	28
Capítulo 3: METODOLOGÍA	29
3.1 Metodología de la preparación de la tierra para el trasplante de brócoli.	30
3.2 Metodología para la preparación de los bioinsecticidas líquidos.	33
3.3 Aplicación de los tratamientos.	35
Capítulo 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
4.1. Resultados del raspado del oxalato.	38

4.2. Resultados del conteo de insectos.....	38
CONCLUSIÓN	55
Bibliografía	57

Índice de tablas

Tabla 1.1 Bioinsecticidas comerciales.....	14
Tabla 4.1- Resultados de conteo de insectos en las plantas del grupo uno.....	39
Tabla 4.2 - Resultados de conteo de insectos en las plantas del grupo dos.....	39
Tabla 4.3 - Resultados de conteo de insectos en las plantas del grupo tres.....	40
Tabla 4.4 - Resultado del análisis de varianza antes de la aplicación de tratamientos correspondiente al grupo uno.....	41
Tabla 4.5 - Resultados del análisis de varianza del después de la primera aplicación de tratamientos correspondiente al grupo uno	41
Tabla 4.6 - Resultados del análisis de varianza después de la segunda aplicación de tratamientos correspondiente al grupo uno	41
Tabla 4.7 - Resultados del análisis de varianza después de la tercera aplicación de tratamientos correspondiente al grupo uno	42
Tabla 4.8 - Resultados del análisis de varianza después de la cuarta aplicación de tratamientos correspondiente al grupo uno	42
Tabla 4.9 - Resultados del análisis de varianza después de la quinta aplicación de tratamientos correspondiente al grupo uno.	42
Tabla 4.10 - Resultados del análisis de varianza después de la sexta aplicación de tratamientos correspondiente al grupo uno	43
Tabla 4. 11 - Resultados del análisis Tukey del grupo uno.	43
Tabla 4.12 - Resultados del análisis de varianza antes de la primera aplicación de tratamientos correspondiente al grupo dos	45
Tabla 4.13 - Resultados del análisis de varianza después de la primera aplicación de tratamientos correspondiente al grupo dos	45
Tabla 4.14 - Resultados del análisis de varianza después de la segunda aplicación de tratamientos correspondiente al grupo dos	45

Tabla 4.15 - Resultados del análisis de varianza después de la tercera aplicación de tratamientos correspondiente al grupo dos	46
Tabla 4.16 - Resultados del análisis de varianza después de la cuarta aplicación de tratamientos correspondiente al grupo dos	46
Tabla 4.17 - Resultados del análisis del grupo número dos de varianza después de la quinta aplicación de tratamientos correspondiente al grupo dos	46
Tabla. 4.18 - Resultados del análisis de varianza del grupo número dos después de la sexta aplicación de tratamientos correspondiente al grupo dos	47
Tabla. 4.19 - Resultados del análisis Tukey del grupo dos.	47
Tabla 4.20 - Resultado del análisis de varianza antes de la aplicación de tratamientos correspondiente al grupo tres	48
Tabla 4.21 - Resultado del análisis de varianza después de la primera aplicación de tratamientos correspondiente al grupo tres	49
Tabla 4.22 - Resultado del análisis de varianza después de la segunda aplicación de tratamientos correspondiente al grupo tres	49
Tabla 4.23 - Resultado del análisis de varianza después de la tercera aplicación de tratamientos correspondiente al grupo tres	49
Tabla 4.24 - Resultado del análisis de varianza después de la cuarta aplicación de tratamientos correspondiente al grupo tres.	50
Tabla 4.25 - Resultado del análisis de varianza después de la quinta aplicación de tratamientos correspondiente al grupo tres	50
Tabla 4.26 - Resultado del análisis de varianza después de la sexta aplicación de tratamientos correspondiente al grupo tres	50
Tabla 4.27 - Resultados del análisis Tukey del grupo tres	51

Índice de figuras

Figura 1.1. Diferentes morfologías de los cristales de oxalato de calcio. Fuente: Galicia et al. (s. f.).	9
Figura 1.2 Huevo de pulgón brocolero en la hoja de un cultivo. Fuente: Castresana (2020).	16
Figura 1.3 Pulgón brocolero en fase de ninfas. Fuente: Reyes (2017).	17
Figura 1.4 Pulgón brocolero en fase de adulto. Fuente: Telletxea et al (2022).	18
Figura 1.5 Ciclos de vida de los pulgones. Fuente: Fenoll (2025).	19
Figura 1.6 Cultivo de brócoli. Fuente: Swan (2025).	20
Figura 1.7 Brócoli con plaga de pulgón. Fuente: Guevara (2025).	21
Figura 1.8 Zantedeschia aethiopica.	22
Figura 3.1 bolsas de invernadero con la tierra recolectada llenadas a una medida de $\frac{3}{4}$ cada una (tomado por autor, 2024).	30
Figura 3.2 Recolección de tierra para la plantación del cultivo (tomado por autor, 2024).	30
Figuras 3.3 Diseño experimental utilizado (elaborado por autor, 2024).	30
Figura 3.4 Plántula de <i>Brassica oleracea</i> itálica(brócoli) recién plantada (tomado por autor, 2024).	31
Figuras 3.5 Etiquetas referentes a cada tratamiento (tomado por autor, 2024).	32
Figura 3.6 Fertilización del cultivo (tomado por autor, 2024).	32
Figura 3.7 Raspado del Oxalato de calcio (Tomado por autor 2025).	33
Figura 3.8 Disoluciones de oxalato de calcio (tomado por autor, 2025).	34
Figura 3.9 Equipo utilizado para la aplicación de tratamientos (tomado por autor, 2025).	34
Figura 3.10 Conteo de insectos (tomado por autor, 2025).	35

Figura 3.11 Barrera de protección (tomado por autor, 2024).	36
Figura 3.12 Cultivo de brócoli 9 días después de la aplicación (tomado por autor, 2025).	36
Figura 4.1- Oxalato de calcio en balanza analítica (tomado por autor, 2024).	38
La Figura 4.2 muestra los resultados obtenidos en la evaluación de la efectividad de los tratamientos aplicados al grupo uno.	44
La Figura 4.3 muestra los resultados obtenidos en la evaluación de la efectividad de los tratamientos aplicados al grupo dos.	48
En la Figura 4.4 se presentan los resultados de la evaluación de la efectividad de los tratamientos en el grupo tres.	51

INTRODUCCIÓN

Los modelos de desarrollo sustentable han adquirido gran relevancia en la actualidad, debido a la necesidad urgente de mitigar el impacto ambiental generado por las actividades humanas. En este contexto, la economía circular se plantea como una estrategia viable para optimizar el uso de recursos y minimizar la generación de residuos, mediante el aprovechamiento de materiales residuales como insumos para nuevos procesos productivos.

Entre las múltiples áreas de aplicación de la economía circular, destaca el tratamiento de residuos vegetales provenientes de procesos de remediación ambiental. Uno de los desafíos frecuentes en técnicas como la electrofitorremediación es la gestión posterior de la biomasa vegetal utilizada, la cual puede acumular contaminantes y convertirse en un residuo de difícil disposición. Este trabajo propone una alternativa basada en el reaprovechamiento de dichos residuos, específicamente de la especie *Zantedeschia aethiopica*, previamente utilizada en el tratamiento de aguas grises.

En el capítulo I se presenta el marco teórico, donde se aborda el concepto de economía circular y cómo este modelo ha cobrado un interés creciente como respuesta a problemáticas ambientales como el cambio climático, la escasez de recursos y la contaminación. Se discuten las propiedades insecticidas del oxalato de calcio, lo que suscita interés en su uso como alternativa para el manejo de residuos generados en procesos de remediación. Asimismo, se introduce el proyecto alternativo que propone utilizar oxalato de calcio, extraído de una especie vegetal (alcatraz), como insecticida, aplicado a problemáticas agrícolas, específicamente al control de plagas que afectan cultivos.

En el capítulo II se plantea la problemática relacionada con la escasa disponibilidad de alternativas para la gestión de residuos en procesos de fitorremediación. De igual manera, se expone la justificación del proyecto, así como la hipótesis y los objetivos propuestos.

El capítulo III detalla la metodología empleada en el desarrollo del proyecto, desde la elaboración del diseño experimental, la preparación del terreno y la adecuación del sitio bajo condiciones óptimas para el cultivo, hasta el trasplante de plantas de brócoli y la preparación de los tratamientos a evaluar. Se incluye también la implementación y el seguimiento del proyecto, así como las revisiones periódicas relacionadas con la aplicación de los tratamientos sobre los cultivos afectados por la plaga objetivo.

Finalmente, en el capítulo IV se presentan los resultados obtenidos respecto a la cantidad de oxalato de calcio extraído tras el raspado del material vegetal. Asimismo, se muestran las tablas de registro de la población de insectos que afectaban los cultivos de brócoli, y posteriormente, los resultados obtenidos tras el análisis estadístico mediante la prueba de Tukey.

Capítulo 1: ANTECEDENTES

1.1 Economía Circular.

La economía circular es un modelo económico que busca minimizar el desperdicio y maximizar la utilización de los recursos, a diferencia del modelo lineal tradicional que sigue el patrón "extraer, producir, consumir y desechar". Este enfoque se basa en principios de sostenibilidad y eficiencia, promoviendo la reutilización, el reciclaje y la recuperación de materiales (McGrath & Jonker, 2024).

Los primeros estudios relevantes sobre la economía circular destacan a autores como Pearce y Turner, que se centran en el estudio de la explotación óptima de los recursos naturales, tanto renovables como no renovables, así como del problema de la extinción de especies y, sobre todo, las posibilidades que se abren a finales de siglo para tratar de paliar la acuciante escasez de recursos materiales, y particularmente de recursos combustibles fósiles (Da Costa, 2022).

A nivel internacional, la economía circular ha cobrado impulso como respuesta a desafíos ambientales, como el cambio climático, la escasez de recursos y la contaminación. Organizaciones como la Unión Europea han adoptado estrategias de economía circular, estableciendo políticas para transformar sus economías hacia modelos más sostenibles. La Economía Circular puede contribuir en la sustentabilidad ambiental por medio del rediseño de las organizaciones industriales y la vida doméstica en su conjunto, pues ésta se fundamenta principalmente en la escuela ecologista haciendo una transformación más profunda y duradera, con la finalidad de reducir el impacto provocado por las actividades del ser humano sobre el medio ambiente, ya que se basa en la reutilización inteligente del desperdicio (González & Vargas-Hernández, 2017).

En el contexto de México, la economía circular ha comenzado a integrarse en las políticas públicas y estrategias de desarrollo. En 2018, el país lanzó su Programa Nacional de Infraestructura Verde, que incluye elementos de economía circular, promoviendo la gestión sostenible de los recursos naturales y la reducción de residuos. Sin embargo, su implementación y aceptación varían significativamente entre sectores. Un informe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio

Ambiente (PNUMA) asegura que un modelo de economía circular podría reducir entre un 80% y un 99% los desechos industriales en algunos sectores y entre un 79% y un 99% de sus emisiones (Redacción National Geographic, 2024).

A pesar del reconocimiento de su importancia, la economía circular enfrenta varios desafíos en México, incluyendo la falta de infraestructura adecuada para el reciclaje, la resistencia cultural hacia el cambio y la necesidad de educación y concienciación sobre el tema. Sin embargo, las oportunidades son considerables, especialmente en sectores como la construcción, la agricultura y la manufactura, donde la adopción de prácticas circulares puede generar beneficios económicos significativos y contribuir al desarrollo sostenible del país (Redacción National Geographic, 2024).

1.2 Oxalato de Calcio proveniente de *Zantedeschia aethiopica* en el marco de un proyecto de economía circular.

En la tesis titulada “Electrofitorremediación de aguas grises en una comunidad en Huanímaro, Gto mediante *Zantedeschia aethiopica*” desarrollada por González (2024), el trabajo con la planta *Zantedeschia aethiopica* (alcatraz) en un proceso de electrofitorremediación, de esta investigación se derivó proyecto alternativo de economía circular donde se hizo la extracción de oxalato de calcio a partir de las plantas usadas en el proceso de electrofitorremediación, con el propósito de usarse como bioinsecticida.

En los procesos de electrofitorremediación uno de los problemas más destacados que se hace presente, radica en la gestión y tratamiento de los desechos generados por las plantas utilizadas en la remediación. Aunque estos métodos son efectivos para eliminar contaminantes del suelo y agua subterránea, se hace presente esta limitante (Ramírez, 2022).

La electrofitorremediación es una técnica eficaz para la descontaminación de suelos y aguas contaminadas, que combina el uso de plantas con la aplicación de campos eléctricos para movilizar y extraer metales pesados y otros contaminantes. Sin embargo, una vez que se finalizan estos procesos, surge una de las problemáticas más común que tiene la realización de estos procesos, la adecuada gestión de los

desechos vegetales generados, los cuales han acumulado los contaminantes extraídos del entorno, su acumulación puede derivar en problemas de manejo de residuos peligrosos y representar una amenaza para la salud pública si se dispersan sin control.

A pesar del potencial de la electrofitorremediación como herramienta sostenible, la falta de propuestas o soluciones para el manejo de la biomasa contaminada una vez generada después de estos procesos limita su aplicación efectiva. Por tanto, es crucial abordar esta etapa final del proceso para asegurar que los beneficios ambientales no se vean contrarrestados por un mal manejo de los residuos resultantes.

El uso desmedido de insecticidas en cultivos agrícolas hoy en día es uno otra de las problemáticas en cuestión a impactos ambientales a recursos como lo es agua y suelo, así como para la biodiversidad. La aplicación de insecticidas incluso dentro de las pautas regulatorias prescritas puede tener consecuencias ambientales perjudiciales (Manzano et al., 2024). Estos efectos son provocados por el uso inadecuado, existiendo muchos ejemplos del mal uso y abuso de los insecticidas. En los peores casos, los efectos de los insecticidas son difíciles de extraer de aquellos provenientes de la mala administración agrícola en general (Muñoz et al., 2024).

En este contexto la opción de hacer uso del oxalato de calcio como una alternativa para mitigar la problemática mencionada anteriormente, transformando este residuo en una forma viable de economía circular en este caso como un bioinsecticida para combatir plagas presentes en un cultivo no solo permitirá reducir el impacto ambiental de los desechos generados, sino que también proveerá la reutilización de estos residuos de manera sostenible y a su vez convertirse en una alternativa más sostenible para prácticas agrícolas futuras.

Una de las aportaciones significativas de este trabajo es la extracción de oxalato de calcio, un compuesto que se genera en el proceso de crecimiento de *Zantedeschia aethiopica*. Por lo cual el estudio busca analizar cómo el oxalato de calcio, obtenido

de las plantas tratadas con aguas grises, puede ser aprovechado como un bioinsecticida. A través de esta aplicación, se establece un vínculo directo entre la remediación ambiental y la producción de un recurso útil, resaltando la importancia de la economía circular en la gestión de recursos locales.

El oxalato de calcio es un compuesto químico con la fórmula CaC_2O_4 . Es una sal que se encuentra comúnmente en la naturaleza, tanto en forma cristalina como amorfa (Stea, 2020). Este compuesto es conocido por su relevancia en diversos campos, desde la biología hasta la medicina y la industria.

El oxalato de calcio es un compuesto orgánico formado por los elementos carbono (C), oxígeno (O) y calcio (Ca). Se encuentra generalmente en sus tres formas hidratadas: mono-, di- y trihidrato. Esto es, con una, dos o tres moléculas de agua respectivamente en su estructura cristalina (Stea, 2020).

El oxalato de calcio fue identificado por primera vez en el siglo XVIII. Aunque el ácido oxálico fue descubierto por el químico sueco Carl Wilhelm Scheele en 1776, el oxalato de calcio comenzó a ser estudiado en detalle a finales de ese mismo siglo. Su relevancia se incrementó a medida que los científicos comenzaron a entender su formación y su papel en los organismos (Pérez, s. f.)

En las plantas los cristales de oxalato de calcio son formados dentro de unas células especializadas llamadas idioblastos, que son células un poco más grandes que la mayoría. La regulación es llevada a cabo por una matriz proteica que se encuentra dentro de la vacuola de los idioblastos. Esta matriz controla la forma, orientación y estado de hidratación de los cristales de oxalato de calcio formados por la planta, dotándolos de características especiales que no comparten con su contraparte inorgánica. Los cristales de oxalato están presentes en casi todas las partes de la planta, como en raíces, hojas, tallos, frutos, semillas, órganos florales, anteras y nódulos radiculares. Estos cristales pueden ser localizados en tejidos específicos como la epidermis, corteza, floema, xilema y médula (Galicia et al., s. f.).

Sus principales características incluyen:

- Solubilidad: Es poco soluble en agua, lo que le permite precipitar en diversas condiciones biológicas y ambientales, casi insoluble en agua: 0,00061 g/100 g de agua a 20 °C. El monohidrato se disuelve en ácido diluido.
- Estructura cristalina: Sus cristales pueden adoptar diversas formas, incluyendo prismas y octaedros, lo que influye en su comportamiento físico y químico.
- Propiedades ópticas: Presenta propiedades ópticas que lo hacen relevante en microscopía y análisis mineral.
- pH, las soluciones acuosas de oxalato de calcio son débilmente básicas.

Estado físico

Sólido cristalino incoloro, blanco, amarillo o marrón que puede estar en tres formas hidratadas diferentes, su peso molecular es de 128,1 g/mol, punto de fusión, el monohidrato del oxalato de calcio se descompone a 200 °C, mientras que su peso específico se tiene para sus tres formas en las que se encuentra, monohidrato $\text{CaC}_2\text{O}_4\text{H}_2\text{O}$ es igual a 2,22 g/cm³, dihidrato $\text{CaC}_2\text{O}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ de 1,94 g/cm³, y trihidrato $\text{CaC}_2\text{O}_4\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ de 1,87 g/cm³ (Stea, 2020).

Los cristales de oxalato de calcio se encuentran en más de 250 familias botánicas. La familia de las Aráceas son un grupo de plantas que se utilizan mucho como ornamentales, en esta familia se incluyen los anturios (*Anthurium* spp.), las monstera (*Monstera* spp.), la malanga (*Colocasia esculenta*), las mafafas (*Xanthosoma* spp.) y las dieffenbachias (*Dieffenbachia* spp.); se cultivan tanto en las casas, oficinas y en las áreas públicas. La mayoría de ellas son tóxicas, principalmente por la presencia de oxalatos que calcio y enzimas que potencian el efecto de dichos cristales, causando una acción mecánica irritativa en ojos, boca y en personas muy sensibles, en la piel (Galicia et al., s. f.).

Los cristales de oxalato de calcio se encuentran en la mayoría de las plantas y tienen diferentes formas. Dentro de sus funciones principales está la regulación de calcio y la protección contra la herbívora.

En las plantas los cristales de oxalato de calcio son formados dentro de unas células especializadas llamadas idioblastos, estas son células un poco más grandes que la mayoría. La regulación es llevada a cabo por una matriz proteica que se encuentra dentro de la vacuola de los idioblastos. Esta matriz anteriormente mencionada controla la forma, orientación y estado de hidratación de los cristales de oxalato de calcio formados por la planta (Figura 1.1), dotándolos de características especiales que no comparten con su contraparte inorgánica. Los cristales de oxalato están presentes en casi todas las partes de la planta, como en raíces, hojas, tallos, frutos, semillas, órganos florales, anteras y nódulos radiculares. Estos cristales pueden ser localizados en tejidos específicos como la epidermis, corteza, floema, xilema y médula (Galicia et al., s. f.).

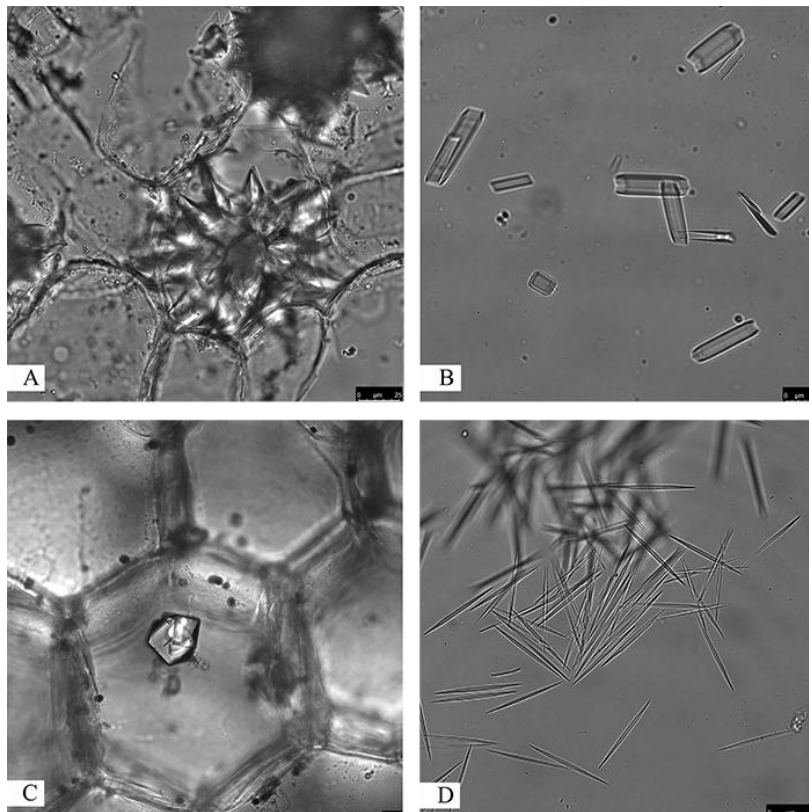


Figura 1.1. Diferentes morfologías de los cristales de oxalato de calcio.

Fuente: Galicia et al. (s. f.).

1.3 Oxalato de calcio.

El oxalato de calcio tiene diversas aplicaciones que va desde la medicina hasta la agricultura, y la industria, estos últimos, ganando mayor relevancia con el paso del tiempo.

En la agricultura se utiliza en el análisis de suelos, y en el estudio de la biodisponibilidad de nutrientes, aunque no es un reactivo estándar en análisis de suelos como el oxalato de amonio, sí tiene aplicaciones específicas en estudios de biodisponibilidad de nutrientes, especialmente en investigaciones relacionadas con el ciclo del calcio, la interacción planta-suelo y el almacenamiento de nutrientes en tejidos vegetales (Sánchez et al., 2019).

Una de las aplicaciones más usadas en el campo agrícola es como indicador fisiológico en plantas, se forma naturalmente en muchas especies vegetales como mecanismo de regulación del calcio y detoxificación de oxalato. Su presencia puede ser un indicador del metabolismo saludable en algunas plantas, permitiendo el desarrollo de cultivos más resistentes a plagas sin necesidad de pesticidas químicos (Sánchez et al., 2019).

En investigaciones agrícolas, se utiliza para estudiar el estrés vegetal, ya que su acumulación puede aumentar en respuesta a ciertos factores ambientales (Chaves & Gutiérrez, 2016).

Muchas plantas producen cristales de oxalato de calcio como defensa contra animales herbívoros, ya que estos cristales pueden causar irritación en la boca o el tracto digestivo. Esto se estudia en cultivos para desarrollar variedades más resistentes a plagas sin uso de pesticidas químicos la producción de cristales estos se dan en varios organismos como las plantas, bacterias, hongos y animales (Piola, 2013). En los animales generalmente es nocivo para su salud, un ejemplo muy conocido son los cálculos renales. En cambio, en las plantas la acumulación de dichos cristales es un fenómeno frecuente y está relacionado con su metabolismo, a través de un proceso conocido como biomineralización (Galicia et al., s. f.).

En el caso particular de los biominerales de oxalato de calcio han sido identificadas dos especies, whewellita y weddellita. La primera de ellas, whewellita, resulta una forma monohidratada ($\text{CaC}_2\text{O}_4\text{H}_2\text{O}$), mientras que la segunda, weddellita, es polihidratada ($\text{CaC}_2\text{O}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Ambas especies minerales biogénicas resultan muy raras en ambientes geológicos, aunque comunes en tejidos vegetales, animales y en hongos (Osterrieth & Oyarbide, 2017).

Este compuesto químico es el resultado de la unión entre iones de calcio (Ca^{2+}) y ácido oxálico. Por lo cual aumentar el calcio puede favorecer su acumulación, aplica fuentes de calcio como lo es el Yeso agrícola (sulfato de calcio), Cal agrícola (carbonato de calcio), Nitrato de calcio así como también asegura un pH ligeramente ácido a neutro (6.0–7.0) para mejorar la absorción, por otro lado, ciertas condiciones específicas del cultivo como la temperatura pueden favorecer la acumulación de cristales, la luz intensa en algunas especies se puede llegar a producir más oxalato con buena iluminación, como también la exposición del cultivo a temperaturas altas ayudan a la aceleración en el metabolismo vegetal (Reinoso & Bárcenas, 2009).

El oxalato de calcio en sí mismo no es un agente de tratamiento de aguas residuales comúnmente utilizado de forma directa. Se puede decir que el uso como un agente de tratamiento principal de aguas residuales es limitado. Sin embargo, el ácido oxálico puede ser utilizado como un reactivo para precipitar ciertos iones metálicos o para potenciar procesos de oxidación avanzada (Fernández, 2020). En la actualidad se hace presente en algunos procesos tratamiento de aguas residuales, principalmente debido a su capacidad para formar precipitados insolubles que facilitan la eliminación de contaminantes (García, 2017).

En México, se ha estudiado principalmente en relación con problemas de salud pública, como la formación de cálculos renales, que es un problema creciente. Instituciones académicas y de salud han comenzado a investigar la prevalencia de este trastorno, así como las condiciones dietéticas y ambientales que pueden contribuir a su formación.

1.4 Bioinsecticidas.

Algunos de los problemas más importantes que actualmente que enfrenta la protección de los cultivos son consecuencia del uso indiscriminado y casi exclusivo que se ha venido haciendo de los insecticidas químicos (González, 2013). El desarrollo de biotipos de insectos resistentes a estos insecticidas y la acumulación de residuos tóxicos en el suelo, en el agua y en los productos cosechados son algunos de los efectos más conocidos y los que provocan una mayor preocupación pública por la repercusión que esto pueda tener en la salud humana y en la calidad del medio ambiente.

Por tanto, la necesidad de desarrollar otras medidas de control de plagas que permitan el desarrollo de una agricultura sostenible y la conservación del medio ambiente. Una de las alternativas más prometedora y realista es el desarrollo de bioinsecticidas basados en los microorganismos (bacterias y hongos) y virus entomopatógenos. El término bioinsecticida, también llamado biopesticida o bioplaguicida, se utiliza para designar a muchos agentes del control de plagas (González, 2013).

Los efectos negativos de las plagas principalmente repercuten en la producción de alimentos para la población e impactan en la economía del país.

Una plaga es cualquier especie, raza o biotipo vegetal o animal o agente patógeno dañino para las plantas o productos vegetales.

Clasificación de bioinsecticidas:

- Plaguicidas bioquímicos: este tipo utiliza sustancias que se encuentran naturalmente en la naturaleza. Ejemplos de estos son feromonas sexuales usadas para interrumpir el apareamiento de insectos, extractos de plantas como el neem, reguladores del crecimiento de insectos y ciertos aceites esenciales como el de citronela o eucalipto que actúan como repelentes naturales. En general, los plaguicidas bioquímicos controlan las plagas a través de mecanismos no tóxicos.

- Plaguicidas microbianos: este tipo utiliza microorganismos como ingrediente activo. Estos microorganismos suelen ser bacterias u hongos, pero también pueden ser virus, protozoos u oomicetos (Da Silveira, 2016).
- Protectores incorporados a las plantas (PIP): este tipo utiliza sustancias que son producidas por las plantas después de que los humanos hayan agregado material genético, como genes o proteínas. Las plantas se modifican de esta manera para que sean naturalmente resistentes a las plagas de insectos, y diferentes tipos de genes y proteínas pueden mejorar la resistencia de una planta a diferentes tipos de plagas.

Hay varias ventajas de usar bioinsecticidas en lugar de pesticidas convencionales. Mientras que los bioinsecticidas están hechos de sustancias naturales, los pesticidas convencionales están hechos de productos químicos sintéticos o agroquímicos. Por lo general, los pesticidas convencionales se utilizan para matar directamente las plagas en lugar de controlarlas. Por el contrario, la mayoría de los bioinsecticidas se utilizan como un componente de un enfoque de manejo integrado de plagas que permite el control gradual de una plaga de insectos a lo largo del tiempo. El control generalmente se logra a través de mecanismos indirectos en lugar de matar directamente al insecto (González, 2013).

Esto significa que se reduce el tiempo de exposición y se produce menos contaminación. Como resultado, los bioplaguicidas a menudo se aprueban para su uso más rápido que los pesticidas convencionales porque presentan menos riesgos de seguridad (Da Silveira, 2016).

En el mercado existen diversos bioinsecticidas, que son productos de origen natural o biológico utilizados para el control de plagas sin recurrir a productos químicos sintéticos. Estos insecticidas suelen ser menos dañinos para el medio ambiente, la fauna benéfica y la salud humana, en la tabla 1.1, se muestran algunos de los bioinsecticidas comerciales más comunes.

Tabla 1.1 Bioinsecticidas comerciales.

Bioinsecticida (agente biológico)	Descripción	Plagas que combate	Presentación	Clasificación de bioinsecticida
<i>Bacillus thuringiensis</i> (Bt).	Bacteria que produce proteínas tóxicas para ciertos insectos cuando son ingeridas.	Orugas, moscas, y escarabajos.	Polvo mojable, suspensiones, gránulos.	Microbiano.
<i>Neem</i> (<i>Azadirachta indica</i>).	Extracto de la planta de neem, con propiedades insecticidas, repelentes y antifúngicas. Afecta el sistema hormonal de los insectos, impidiendo su desarrollo y reproducción.	Ácaros, pulgones, moscas blancas, cochinillas, orugas.	Aceite, extractos líquidos, emulsiones.	Bioquímico.
<i>Pyrethrins</i> (Piretrinas).	Extractos naturales derivados de las flores de <i>Chrysanthemum cinerariaefolium</i> . Actúan rápidamente sobre el sistema nervioso de los insectos, causando parálisis y muerte.	Mosquitos, moscas, pulgones, chinches, ácaros, entre otros.	Aerosoles, líquidos concentrados.	Bioquímico.
Aceite de citronela.	Aceite esencial natural extraído de las plantas de <i>Cymbopogon</i> , comúnmente conocidas como citronela, hierba de limón o lemongrass. Contiene compuestos como citronelal, geraniol y citronelol, que son los principales responsables de sus efectos repelentes y pesticidas.	Mosquitos, moscas, pulgones, ácaros, insectos voladores como los escarabajos y las polillas.	Aerosoles, líquidos concentrados, aceites.	Bioquímico.

Fuente: Ondarza (2017).

1.5 El pulgón de las brasicas (*Brevicoryne brassicae*).

El pulgón de las brasicas, pulgón de la col así como también pulgón brocolero, es mejor conocido científicamente como *Brevicoryne brassicae*, es un insecto hemíptero perteneciente a la familia *Aphididae*. Es una plaga ampliamente distribuida a nivel mundial, principalmente en zonas templadas, y se encuentra asociada a cultivos de la familia *Brassicaceae*, como el brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), la coliflor, la col, y otros cultivos relacionados (Crespo, 2024). Este insecto representa una seria amenaza para la producción agrícola debido a su capacidad de reproducción rápida y a los daños directos e indirectos que causa en las plantas hospedadoras (Peña, 2017).

En cuanto a morfología, el pulgón brocolero se caracteriza por tener un cuerpo blando, generalmente de color verde grisáceo o azulado, cubierto de una capa cerosa o polvillo blanquecino (González et al., 2015). Los adultos pueden ser ápteros (sin alas) o alados, dependiendo de las condiciones ambientales y de la densidad poblacional. Los ápteros miden entre 1.5 y 2.5 mm de longitud, tienen un cuerpo globoso y antenas relativamente cortas. Los individuos alados son más delgados y presentan alas transparentes que facilitan la dispersión hacia nuevas plantas (Crespo, 2024).

Ciclo biológico:

La reproducción del *Brevicoryne brassicae* ocurre principalmente por partenogénesis telítoca durante la mayor parte del año, es decir, las hembras dan lugar a crías vivas sin necesidad de fecundación (González et al., 2015). Esto les permite incrementar rápidamente su población bajo condiciones favorables. En regiones de clima templado o frío, el pulgón puede presentar una fase sexual en otoño, durante la cual machos y hembras se reproducen para producir huevos de resistencia que sobreviven al invierno. Posteriormente, en primavera, estos huevos eclosionan y reinicia el ciclo de reproducción partenogenética (Navarro & García, 2014).

El pulgón brocolero se reproduce de dos maneras, según sea la temperatura del ambiente. En condiciones cálidas las colonias de *Brevicoryne brassicae* se conforman solo de hembras, y la reproducción no requiere de apareamiento. Las hembras dan origen a más hembras durante periodos cálidos. Cuando la temperatura disminuye, las hembras comienzan a producir machos en respuesta al frío. El ciclo de vida del pulgón de la col dura entre 16 – 50 días. En medida que la temperatura aumenta la duración del ciclo de vida disminuye notablemente. Los pulgones pueden reproducirse por dos vías (Fenoll 2025).

Ciclo de reproducción:

Huevo:

Es la etapa con la que hibernan y permanecen en restos de cultivo (Figura 1.2) cerca de la superficie del suelo. En climas cálidos los huevos no son puestos debido a que las hembras se reproducen por partenogénesis.



Figura 1.2 Huevo de pulgón brocolero en la hoja de un cultivo.

Fuente: Castresana (2020).

Ninfas:

Tienen apariencia similar a los adultos, pero con una cauda y sifones o cornículos menos desarrollados, así como un menor tamaño. Las ninfas (Figura 1.3) presentan un cuerpo ovalado, de color verde pálido (Figura 1.3). El período ninfal varía en promedio de 7 a 10 días, mudando en cada etapa ninfal a un individuo más grande. A una temperatura de 25 °C su periodo ninfal es de 6 días y se puede alargar a 12.5 días cuando la temperatura se reduce a 15 °C, dejando de manifiesto que

temperaturas más o menos elevadas favorecen que el ciclo sea más corto. Las formas aladas se desarrollan y migran a otras plantas hospederas cuando la calidad de la planta disminuye o existe una sobrepoblación de estos áfidos en la planta (Márquez, 2020).



Figura 1.3 Pulgón brocolero en fase de ninfas.

Fuente: Reyes (2017).

Adultos

Los pulgones adultos (Figura 1.4) son de cuerpo blando en forma de pera u ovalados con un par de tubos llamados cornículos o sifones en la parte posterior de su cuerpo y proyectados hacia atrás. Cuentan con un aparato bucal picador-chupador. Tienen dos formas en su estado adulto alados y sin alas (ápteros). Los adultos sin alas tienen un tamaño de 1.5 a 2.4 mm con colores que pueden ser de verde o blanco grisáceo debido a la cubierta cerosa que tienen. Por debajo de la capa cerosa en la parte superior se encuentran ocho manchas color marrón oscuro o negro que aumentan su tamaño en la parte posterior de su cuerpo.

Las hembras aladas miden de 2.0 a 2.5 mm y carecen de la cubierta cerosa. Además, sus alas son cortas con venas prominentes y su cabeza, antenas y tórax son color marrón oscuro o negro. Estos áfidos alados tienen un abdomen color amarillo con dos manchas oscuras que se unen en el último segmento abdominal. Las hembras pueden generar de 2 a 5 ninfas por día.



Figura 1.4 Pulgón brocolero en fase de adulto.

Fuente: Telletxea et al (2022).

Daños a los cultivos:

El daño causado por el pulgón brocolero es tanto directo como indirecto. De manera directa, los insectos succionan la savia de los tejidos jóvenes, debilitando a la planta, retrasando su crecimiento y afectando la calidad del producto final (Navarro & Ferran, 2014). Indirectamente, los pulgones excretan una sustancia azucarada conocida como mielecilla, que favorece el desarrollo de hongos como la fumagina (*Capnodium spp*), los cuales reducen la fotosíntesis y deterioran aún más el aspecto y la calidad comercial del cultivo. Además, *Brevicoryne brassicae* es vector de diversos virus fitopatógenos, como el virus del mosaico de la col (Cauliflower Mosaic Virus), que puede causar pérdidas significativas (Crespo, 2024).

La temperatura moderada (entre 15 y 25 °C), la alta humedad relativa y la presencia continua de plantas hospederas favorecen el crecimiento poblacional del pulgón brocolero (Figura 1.5). Asimismo, la ausencia de enemigos naturales, el uso indiscriminado de insecticidas que eliminan fauna benéfica, y la siembra continua de brassicas sin rotación de cultivos contribuyen a su establecimiento y expansión (Espinoza G. , 2020).



Figura 1.5 Ciclos de vida de los pulgones.

Fuente: Fenoll (2025)

1.6 *Brassica oleracea itálica* (Brócoli).

El cultivo de brócoli (Figura 1.6) se adapta mejor a suelos con buen drenaje, aunque puede desarrollarse en un amplio rango de texturas de suelos. Aceptables rendimientos han sido reportados en suelos arenosos y hasta arcillo limosos. Cuando se siembre en suelos arcillolimosos, será necesario preparar bien el terreno con y una buena cama el objetivo de que la siembra directa sea efectiva. El brócoli es ligeramente tolerante a suelos ácidos (6 a 6.8 de pH) (Zamora, 2016).

El brócoli se adapta mejor a temperatura promedio de 16 °C (60 °F). El rango óptimo está entre 15 y 25 °C (59 y 77 °F). También, cabe mencionar que soporta temperaturas bajas hasta de -2°C siempre y cuando no se haya formado aún la inflorescencia. La semilla germina en 7 días a temperaturas entre 7 y 35 °C (45 a 95 °F). A muy altas temperaturas, las plantas desarrollan tamaño pequeño, cabezas deformes o cabezas normales, pero de color púrpura ocasionando una baja en calidad (Perea, 2021).

Es necesario asegurar un abundante suministro de agua, sobre todo en etapas de germinación, desarrollo y formación de inflorescencia. No se conocen con exactitud las necesidades hídricas del cultivo, lo que dificulta un poco tomar la decisión de cuanto y cuando regar, sin embargo; cuando se provee a la planta de una buena cantidad de agua a lo largo del ciclo reproductivo (sobre todo en la etapa de formación de inflorescencia), se garantiza un mayor rendimiento (Zamora, 2016).



Figura 1.6 Cultivo de brócoli.

Fuente: Swan (2025).

Los insectos-plaga más recurrentes que atacan al cultivo del brócoli son: el gusano falso medidor de la col *Trichoplusia ni* (Hubner) gusano importado de la col *Pieris rapae* (L.) gusano telarañero del repollo (*Hellula undalis* (F.) el pulgón harinoso de la col (*Brevicoryne brassicae* (L.) (Figura 1.7) el pulgón verde del durazno (*Myzus persicae* (Sulzer), y la palomilla dorso de diamante *Plutella xylostella* (L.).



Figura 1.7 Brócoli con plaga de pulgón. Fuente: Guevara (2025).

1.7 *Zantedeschia aethiopica*.

Zantedeschia aethiopica también conocida como Lirio de agua, Alcatraz, Aro de Etiopía, Cartucho, Lirio cala, Flor de jarro, Flor de patio o Cala. Pertenece a la familia de las Araceae, siendo originaria de la región del Cabo, Sudáfrica, es una planta ornamental que crece en varias regiones de México, y su uso como flor de corte es muy popular (Antolín, 2023).

Se caracteriza por poseer hojas grandes, de forma acorazonada o sagitada, de color verde intenso y con una textura cerosa. La inflorescencia está compuesta por una espata blanca, de apariencia similar a un pétalo, que envuelve a un espádice amarillo, la cual contiene las verdaderas flores. Su sistema radicular es rizomatoso, lo que le permite una reproducción vegetativa eficiente (Vázquez, 2023).

Es una planta de gran valor ornamental y simbólico, su mantenimiento no es complicado, pero es esencial seguir las recomendaciones de iluminación, riego, suelo y fertilización para asegurar su bienestar (Antolín, 2023).

Los principales estados productores son Veracruz, Puebla, Jalisco, Chiapas, Oaxaca, Colima y Estado de México. De no ser cultivada, se puede encontrar de

manera natural en ecosistemas boscosos tropicales y subtropicales. El alcatraz más común en México es el 'Criollo' de espata blanca, el cual es perenne. Otros alcatraces como el de espata blanca con manchas verdosas (Cruz & Torres, 2017).

Es una planta herbácea perenne rizomatosa, siempre verde donde las precipitaciones y temperaturas son adecuadas, caducifolia donde hay estación seca. Su hábitat preferido son los arroyos y estanques o en las orillas. Crece hasta 0,6 a 1 m (2,0 a 3,3 pies) de altura, con grandes grupos de hojas anchas, de color verde oscuro, en forma de flecha, de hasta 45 cm (18 pulgadas) de largo.

Las inflorescencias son grandes y se producen en primavera, verano y otoño, con una espata de color blanco puro de hasta 25 cm (9,8 pulgadas) y un espádice amarillo de hasta 90 mm (3+1/2 pulgadas) de largo (Figura 1.8). El espádice produce una fragancia suave y dulce, contiene oxalato de calcio, y la ingestión de la planta cruda puede causar una sensación de quema severa e hinchazón de labios, lengua y garganta (Guzmán, 2023).



Figura 1.8 *Zantedeschia aethiopica*.

Fuente: Melara (2022).

Diversos estudios han identificado en esta planta la presencia de cristales de oxalato de calcio, compuestos que actúan como mecanismo de defensa frente a herbívoros. Asimismo, se le atribuyen propiedades antimicrobianas en algunos extractos vegetales, aunque su manipulación debe realizarse con precaución, ya que puede

ser tóxica si se ingiere (Gómez, 2021). El alcatraz es una planta que se puede utilizar para procesos de eliminación de contaminantes presente en el suelo, agua o aire, como lo es la fitorremediación (Alvarado, 2020).

La fitorremediación, un método de descontaminación surgido en los años ochenta, básicamente consiste en el uso de plantas, hongos o algas para descontaminar suelos, agua o aire. Se trata, en efecto de un método natural de la misma acción de las plantas para tratar aguas sucias, por ejemplo, las residuales, un aire contaminado o suelos que también precisan actuaciones de recuperación (Isan, 2017).

González (2024) llevó a cabo un proyecto de investigación consistente en un proceso de electrofitorremediación aplicado a aguas grises en la comunidad de Los Otates, municipio de Huanímaro, Guanajuato. En dicho estudio se emplearon las propiedades fitorremediadoras de *Zantedeschia aethiopica*, combinadas con un proceso de electroremediación mediante la aplicación de un campo eléctrico utilizando electrodos de aluminio. Este procedimiento fue implementado con el objetivo de remover y eliminar contaminantes orgánicos presentes en aguas grises.

Se monitoreó un total de 15 parámetros, los cuales fueron ponderados a través del Índice de Calidad del Agua (ICA), utilizando el método de modificación propuesto por Brown. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: un valor de ICA de 590.8 para el agua sin tratamiento; un ICA de 223.02 para el tratamiento con fitorremediación; un ICA de 388.50 para el tratamiento con electroremediación; y un ICA de 343.0 para el tratamiento combinado de electrofitorremediación.

El estudio realizado por González (2024) demostró que la combinación de técnicas electrocinéticas con fitorremediación resulta viable para maximizar la reducción de compuestos orgánicos en aguas grises. A partir de estos resultados, se plantea un proyecto alternativo en el marco de la economía circular, al aprovechar los ejemplares de *Zantedeschia aethiopica* utilizados en el proceso para la obtención de extracto de oxalato de calcio con fines insecticidas.

Capítulo 2: GENERALIDADES DEL PROYECTO

2.1 Planteamiento del problema

La economía circular propone un modelo sostenible que maximiza la reutilización de recursos y minimiza los residuos (Reguera, 2025). Dicho lo anterior, uno de los desafíos en la gestión ambiental es la disposición de los residuos generados por procesos como la fitorremediación, que se utiliza para tratar aguas contaminadas. Aunque este proceso mejora la calidad del agua, los residuos de las plantas contaminadas representan un problema de gestión.

En este escenario, se presenta una oportunidad afrontar una de las limitantes que existe en los procesos de electrofitorremediación que es el que se hace “después de”, con las plantas que ya fueron usadas en el proceso. El oxalato de calcio, presente en algunas plantas utilizadas en electrofitorremediación, como lo es la *Zantedeschia aethiopica* (alcatraz), ha mostrado propiedades insecticidas, lo que lo convierte en un candidato para explorar su eficacia contra el pulgón Brocolero.

Las plantas como todo ser vivo han desarrollado métodos de defensa contra sus depredadores a través del tiempo, liberando así sustancias tóxicas para ahuyentarlos (Portela, 2021). Algunas familias de plantas presentan una gran cantidad de fitoquímicos (que actúan como toxinas), como solanaceae, aquifoliaceae, araceae y taxaceae entre otras, produciendo compuestos tóxicos, como: nicotina, datura, atropa o taninos. Los oxalatos, en mayor o menor proporción, se encuentran en la mayoría de las plantas.

Los alimentos vegetales contienen cantidades variables de estos componentes (Cárdenas et al., 2018). En la mayoría de los casos, la proporción de estos componentes es tan baja como para no provocar problemas y preocuparnos por su existencia. Sin embargo, algunas especies vegetales pueden contener altas concentraciones de oxalatos y de esa manera provocar intoxicaciones en animales y seres humanos.

Muchas plantas acumulan cristales de oxalato de calcio en respuesta a los excedentes de calcio, que se encuentra en el ambiente natural (Piola, 2013).

Por otro lado, el pulgón brocolero (*Brevicoryne brassicae*) representa una amenaza significativa para los cultivos de brócoli y otras brassicáceas, ya que al alimentarse de la savia vegetal causa debilitamiento, retraso en el crecimiento y deformaciones en las plantas. Además, su presencia favorece la aparición de hongos y facilita la transmisión de virus, lo que agrava aún más el daño. Por ello, es necesario estudiar su impacto para desarrollar métodos de control que permitan proteger los cultivos y asegurar una producción agrícola de calidad, se busca desarrollar alternativas más sostenibles y ecológicas para el control de plagas (González, Salas, & Martinez, 2015).

Brevicoryne brassicae es una plaga común que afecta principalmente a cultivos de la familia de las brassicáceas, como el brócoli, la col y la coliflor. Estos pequeños insectos se alimentan de la savia de las plantas, debilitándolas y provocando un crecimiento deficiente, amarillamiento de las hojas y, en infestaciones severas, la deformación de las partes afectadas. Además, al excretar una sustancia azucarada llamada melaza, favorecen el desarrollo de hongos como la fumagina, que reduce la capacidad fotosintética de las plantas. El daño directo, junto con la transmisión de virus, puede ocasionar pérdidas significativas en la producción y calidad de los cultivos. Esto genera impactos negativos sobre los ecosistemas, la biodiversidad y la salud humana (García, 2023).

2.2 Justificación

La economía circular se presenta como un modelo clave para enfrentar los retos ambientales y promover una mayor sostenibilidad. Este enfoque busca maximizar la reutilización de recursos y minimizar la generación de residuos, creando un ciclo continuo de aprovechamiento de materiales (Redacción National Geographic, 2024).

Con lo anterior mencionado, uno de los problemas más importantes es la gestión de los residuos generados por los procesos de fitorremediación, utilizados para tratar aguas contaminadas, especialmente las aguas grises. Si bien la fitorremediación mejora la calidad del agua, los residuos de las plantas

contaminadas, una vez que han cumplido su función, se convierten en un nuevo desafío de manejo, dado que su disposición inadecuada puede generar impactos negativos en el medio ambiente (Romero, 2024).

Este trabajo de investigación busca integrar dos áreas fundamentales: la gestión de residuos de electrofitorremediación y el control biológico de plagas. En particular, se propone estudiar el oxalato de calcio, un compuesto presente en algunas plantas utilizadas en este proceso, como la *Zantedeschia aethiopica* (alcatraz). Se ha demostrado que el oxalato de calcio posee propiedades insecticidas que podrían ser efectivas en el control del pulgón brocolero, lo que abre la posibilidad de aprovechar los residuos de fitorremediación para desarrollar una solución biológica y ecológica frente a esta plaga (Gómez, 2021).

Este enfoque ofrece una doble ventaja, por un lado, contribuirá al desarrollo de métodos más sostenibles para el control de plagas, reduciendo la dependencia de productos químicos en la agricultura y por otro lado, proporcionará una solución innovadora para la gestión de los residuos generados por los procesos de fitorremediación, permitiendo cerrar el ciclo de estos materiales dentro de una economía circular (Menéndez et al., 2025). Al reutilizar los residuos vegetales para el control de plagas, se estaría promoviendo una agricultura más responsable, integrada y respetuosa con el medio ambiente, y al mismo tiempo, mejorando la calidad del agua mediante procesos más sostenibles (Gómez, 2024).

2.3 Hipótesis

El oxalato de calcio extraído de *Zantedeschia aethiopica* tendrá el mismo efecto sobre *Brevicoryne brassicae* que un insecticida comercial.

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo general

Evaluar la eficacia insecticida del oxalato de calcio extraído de *Zantedeschia aethiopica* frente a *Brevicoryne brassicae*, en comparación con un insecticida comercial.

2.4.2 Objetivos específicos

- Seleccionar el cultivo huésped y la plaga objetivo para la aplicación del bioinsecticida.
- Adecuar las condiciones del terreno para el trasplante y desarrollo del cultivo.
- Diseñar el esquema experimental con los tratamientos a base de oxalato de calcio y su comparación con un insecticida comercial.
- Extraer y formular el bioinsecticida a partir del oxalato de calcio obtenido de *Zantedeschia aethiopica*.
- Aplicar los tratamientos experimentales sobre los cultivos infestados por *Brevicoryne brassicae*.
- Analizar la eficacia del bioinsecticida en comparación con un insecticida comercial, mediante el monitoreo de la población de plaga.

Capítulo 3: METODOLOGÍA

3.1 Metodología de la preparación de la tierra para el trasplante de brócoli.

1.- Recolección de suelo agrícola (Figura 3.1) para el llenado de las bolsas de invernadero, posteriormente se realizó el llenado de cada una de las 48 bolsas (Figura 3.2).



Figura 3.1 Recolección de tierra para la plantación del cultivo (tomado por autor, 2024).



Figura 3.2 bolsas de invernadero con la tierra recolectada llenadas a una medida de $\frac{3}{4}$ cada una (tomado por autor, 2024).

2.- Se diseñó un modelo experimental en bloques al azar con parcelas divididas (figura 3.3).

Grupo (1)			
T _C	T ₁	T ₃	T ₂
T ₃	T ₂	T _C	T ₁
T ₂	T ₃	T ₁	T _C
T ₁	T _C	T ₂	T ₃
Grupo (2)			
T _C	T ₁	T ₃	T ₂
T ₃	T ₂	T _C	T ₁
T ₂	T ₃	T ₁	T _C
T ₁	T _C	T ₂	T ₃
Grupo (3)			
T _C	T ₁	T ₃	T ₂
T ₃	T ₂	T _C	T ₁
T ₂	T ₃	T ₁	T _C
T ₁	T _C	T ₂	T ₃

Figuras 3.3 Diseño experimental utilizado (elaborado por autor, 2024).

3.- Fijar el lugar apto y apropiado para las condiciones de crecimiento del cultivo, para que se logre el crecimiento optimo del brocoli, el suelo debe mantener una humedad constante sin encharcarse, se encuentra en un rango general de 20-60% de humedad, preferentemente con riegos ligeros y frecuentes, y un pH de 5.5 a 7 y luz solar adecuada, nesecita al menos 6 a 8 horas de luz directa al dia para su crecimiento optimo, posteriormente se establecio el diseño del experimento, considerando un espacio de 40 a 50 cm de separacion entre cada planta y organizando las plantas en 3 grupos de 16 plantas cada grupo tambien se determino que tratamiento llevaria cada planta para despues llevar a cabo su etiquetado de acuerdo al tratamiento que correspondiera.

4.- Se realizó el trasplante de las plántulas de brócoli (figura 3.4).



Figura 3.4 Plántula de *Brassica oleracea* itálica(brócoli)
recién plantada (tomado por autor, 2024).

5.- Se realizo un etiquetado de las 48 plantas (Figura 3.5) con los 4 tratamientos, bioinsecticida con 0.3 gr de oxalato de calcio (T1), bioinsecticida con 0.9 gr de oxalato de calcio (T2), insecticida comercial (T3), Agua (TC) según fuera el caso, estas concentraciones mencionadas fueron establecidas en relación a las concentraciones del producto comercial.



Figuras 3.5 Etiquetas referentes a cada tratamiento (tomado por autor, 2024).

5.- Se fertilizó la tierra realizando disolución de 200 gr de Bayfolan (sólido) por cada 1 litro de agua a utilizar (Figura 3.6). Posteriormente se le colocó 1 litro de la preparación a cada una de las 48 plantas.



Figura 3.6 Fertilización del cultivo (tomado por autor, 2024).

3.2 Metodología para la preparación de los bioinsecticidas líquidos.

1.- Se realizó el raspado del oxalato de calcio (Figura 3.7) el cual fue extraído previamente por González (2024) de plantas de alcatraz el cual se tenía almacenado en cajas Petri a temperatura ambiente.



Figura 3.7 Raspado del Oxalato de calcio (Tomado por autor 2025).

2.- Una vez obtenido el oxalato de calcio de las 10 cajas Petri, se pesó en balanza analítica para conocer el peso del mismo y posteriormente realizar las disoluciones de T1 y T2.

3.- Una vez terminadas las disoluciones de cada tratamiento, se envolvieron en papel aluminio (Figura 3.8) y se mantuvieron en refrigeración, para protegerlas de factores que pueden alterar su eficacia o seguridad como lo son las condiciones de temperatura, proteger de la luz directa y también prevenir su contaminación.

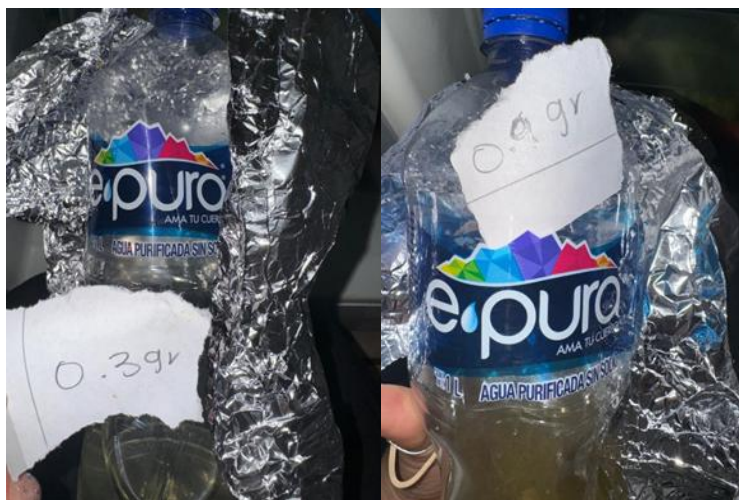


Figura 3.8 Disoluciones de oxalato de calcio (tomado por autor, 2025).

4.- Se realizo la preparación del T3, con ayuda de una jeringa se tomaron 1 ml del insecticida comercial Flupiradifurone y se disolvió en 1 litro de agua.

5.- Una vez terminada la preparación de todos los tratamientos se colocaron en atomizadores en distintos colores (Figura 3.9) para ayudar a su identificación (en el caso del TC no fue necesario realizar ninguna preparación previa a su aplicación ya que es agua simple).



Figura 3.9 Equipo utilizado para la aplicación de tratamientos (tomado por autor, 2025).

3.3 Aplicación de los tratamientos.

1.- Se realizó una revisión diaria y constante del cultivo (figura 3.10) con el fin de detectar oportunamente la presencia de plagas. Los primeros insectos aparecieron de forma natural en solo cuatro plantas y en cantidades muy reducidas. Sin embargo, con el paso de los días, la plaga comenzó a propagarse y su presencia se fue extendiendo progresivamente a todas las plantas, incrementando también su ritmo de reproducción. Una vez que se detectaron insectos en la totalidad de las 48 plantas, se procedió a realizar un conteo inicial antes de aplicar cualquier tratamiento.



Figura 3.10 Conteo de insectos (tomado por autor, 2025).

2.- Se realizó la primera aplicación de los 4 tratamientos, la cual consistió en rociar de 4 a 5 disparos asegurando que se cubriera toda la planta con el tratamiento, para poder rociar las plantas se hizo uso de una barrera en forma de aro (Figura 3.11) cual cubría toda la planta ayudando a que las plantas que se encontraban alrededor no tuvieran contacto más que con su tratamiento que le correspondía a cada una.



Figura 3.11 Barrera de protección (tomado por autor, 2024).

3.- Dejando pasar 3 días, para dejar actuar los tratamientos, posteriormente se realizó el conteo de insectos en las 16 planta de cada grupo (Figura 3.12), este paso se realizó un total de 6 veces, siguiendo la misma metodología y se contaba el número de insectos.



Figura 3.12 Cultivo de brócoli 9 días después de la aplicación (tomado por autor, 2025).

4.- Se aplicaban los tratamientos al cultivo y se dejaban actuar durante 3 días, el procedimiento se repetía todo nuevamente.

Capítulo 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del raspado del oxalato.

Se obtuvo como resultado al pesar el oxalato de calcio en la balanza analítica (Figura 4.1) una cantidad total de 1.2 gr, posteriormente fueron tomados 0.3 gr para el T1 y 0.9 gr para el T2.



Figura 4.1- Oxalato de calcio en balanza analítica (tomado por autor, 2024).

4.2. Resultados del conteo de insectos.

Se realizó una evaluación periódica de los insectos presentes en los cultivos de brócoli. Primero se efectuó un conteo inicial antes de aplicar cualquier tratamiento. Posteriormente, se aplicaron los tres tratamientos junto con un control, y se dejó actuar durante tres días. Después de este período, se realizó un nuevo conteo. Este procedimiento se repitió un total de seis veces. Todos los conteos realizados fueron registrados en tablas, como se muestra a continuación (Tablas 4.1 a 4.3).

Tabla 4.1- Resultados de conteo de insectos en las plantas del grupo uno.

No. De insectos presentes en el cultivo de brócoli								
Tratamiento	Bloques	Conteo previo a la aplicación	No. Conteo					
			1	2	3	4	5	6
T1	B1	68	75	60	48	35	25	18
T2	B1	84	97	80	68	55	43	30
T3	B1	83	69	45	35	22	15	10
TC	B1	47	50	52	54	55	58	60
T1	B2	47	66	55	49	40	32	22
T2	B2	58	60	50	42	33	25	17
T3	B2	67	93	75	60	40	30	18
TC	B2	57	56	59	60	62	65	68
T1	B3	96	283	230	170	120	85	55
T2	B3	53	63	55	47	38	28	18
T3	B3	113	234	190	130	80	50	20
TC	B3	103	105	110	115	120	125	130
T1	B4	73	73	65	60	53	46	40
T2	B4	79	65	60	55	48	39	25
T3	B4	67	68	62	53	41	32	22
TC	B4	63	73	77	80	84	87	90

Fuente: elaboración propia (2025).

Tabla 4.2 - Resultados de conteo de insectos en las plantas del grupo dos.

No. De insectos presentes en el cultivo de brócoli								
Tratamiento	Bloques	Conteo previo a la aplicación	No. Conteo					
			1	2	3	4	5	6
T1	B1	72	80	65	52	38	28	19
T2	B1	88	95	78	66	50	36	24
T3	B1	91	78	54	39	24	16	9
TC	B1	52	55	58	60	63	66	69
T1	B2	61	69	58	48	39	30	21
T2	B2	64	70	59	45	34	25	16
T3	B2	75	88	70	49	31	19	10
TC	B2	59	60	64	66	68	71	73
T1	B3	94	260	210	150	100	65	40
T2	B3	56	62	53	42	30	21	12
T3	B3	108	220	175	120	75	45	18
TC	B3	99	103	108	115	120	124	128
T1	B4	70	71	63	55	48	39	32
T2	B4	76	66	58	47	35	26	18
T3	B4	73	70	60	45	30	20	12
TC	B4	65	72	76	80	85	89	93

Fuente: elaboración propia (2025).

Tabla 4.3 - Resultados de conteo de insectos en las plantas del grupo tres.

No. De insectos presentes en el cultivo de brócoli								
Tratamiento	Bloques	Conteo previo a la aplicación	No. Conteo					
			1	2	3	4	5	6
T1	B1	69	74	59	47	36	27	18
T2	B1	82	92	75	63	48	34	22
T3	B1	85	70	50	33	20	12	6
TC	B1	49	52	55	58	61	64	67
T1	B2	58	65	54	43	35	28	20
T2	B2	60	67	56	44	33	23	14
T3	B2	71	85	66	47	28	18	9
TC	B2	54	55	59	62	66	69	72
T1	B3	91	250	200	140	90	60	35
T2	B3	59	65	56	46	36	26	17
T3	B3	110	210	160	110	70	40	15
TC	B3	98	100	105	110	115	120	125
T1	B4	71	73	65	57	50	42	34
T2	B4	78	68	60	52	44	36	27
T3	B4	70	72	54	50	38	26	15
TC	B4	64	74	78	81	86	90	95

Fuente: elaboración propia (2025).

4.3 Análisis estadístico por tratamiento

Con las tablas elaboradas en Excel a partir de los conteos de insectos realizados durante todo el proyecto experimental, se llevó a cabo un análisis de varianza para cada uno de los grupos de plantas, utilizando el software Infostat. En las tablas 4.4 a 4.10 se presentan los resultados del análisis de varianza correspondiente a las seis evaluaciones del oxalato de calcio como bioinsecticida, específicamente para el grupo número uno.

Tabla 4.4 - Resultado del análisis de varianza antes de la aplicación de tratamientos correspondiente al grupo uno.

Análisis de varianza para el número de insectos en el cultivo de brócoli antes de la aplicación					
Factor de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Tratamiento	3	572.75	190.92	0.62	0.6192
Bloque	3	2368.25	789.42	2.57	0.1195
Error	9	2768.75	307.64		
Total	15	5709.75			
		Coeficiente de variación: 24.23% y R cuadrada: 0.52			

Fuente: elaboración propia (2025).

Tabla 4.5 - Resultados del análisis de varianza del después de la primera aplicación de tratamientos correspondiente al grupo uno.

Análisis de varianza para el número de insectos en el cultivo de brócoli primera aplicación					
Factor de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Tratamiento	3	9740.25	3246.75	1.18	0.3712
Bloque	3	30536.75	10178.92	3.69	0.0555
Error	9	24798.75	2755.42		
Total	15	65075.75			
		Coeficiente de variación: 54.89% y R cuadrada: 0.62			

Fuente: elaboración propia (2025).

Tabla 4.6 - Resultados del análisis de varianza después de la segunda aplicación de tratamientos correspondiente al grupo uno.

Análisis de varianza para el número de insectos en el cultivo de brócoli segunda aplicación					
Factor de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Tratamiento	3	4101.69	1367.23	0.78	0.5319
Bloque	3	21576.19	7192.06	4.13	0.0426
Error	9	15678.56	1742.06		
Total	15	41356.44			
		Coeficiente de variación: 50.40% y R cuadrada: 0.62			

Fuente: elaboración propia (2025).

Tabla 4.7 - Resultados del análisis de varianza después de la tercera aplicación de tratamientos correspondiente al grupo uno.

Análisis de varianza para el número de insectos en el cultivo de brócoli tercera aplicación					
Factor de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Tratamiento	3	1917.25	639.08	0.8	0.5256
Bloque	3	11131.25	3710.42	4.63	0.0319
Error	9	7211.25	801.25		
Total	15	20259.75			
Coeficiente de variación: 40.22% y R cuadrada: 0.64					

Fuente: elaboración propia (2025).

Tabla 4.8 - Resultados del análisis de varianza después de la cuarta aplicación de tratamientos correspondiente al grupo uno.

Análisis de varianza para el número de insectos en el cultivo de brócoli cuarta aplicación					
Factor de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Tratamiento	3	3485.25	1161.75	3.02	0.0865
Bloque	3	5846.25	1948.75	5.07	0.0252
Error	9	3462.25	384.69		
Total	15	12793.75			
Coeficiente de variación: 33.89% y R cuadrada: 0.73					

Fuente: elaboración propia (2025).

Tabla 4.9 - Resultados del análisis de varianza después de la quinta aplicación de tratamientos correspondiente al grupo uno.

Análisis de varianza para el número de insectos en el cultivo de brócoli quinta aplicación					
Factor de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Tratamiento	3	6966.69	2322.23	8.9	0.0047
Bloque	3	3372.19	1124.06	4.31	0.0383
Error	9	2348.06	260.9		
Total	15	12686.94			
Coeficiente de variación: 32.92% y R cuadrada: 0.81					

Fuente: elaboración propia (2025).

Tabla 4.10 - Resultados del análisis de varianza después de la sexta aplicación de tratamientos correspondiente al grupo uno.

Análisis de varianza para el número de insectos en el cultivo de brócoli sexta aplicación					
Factor de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Tratamiento	3	12241.69	4080.56	16.62	0.0001
Bloque	3	1811.19	603.73	12.46	0.1955
Error	9	2209.56	245.51		
Total	15	16262.44			
		Coeficiente de variación: 38.99% y R cuadrada: 0.86			

Fuente: elaboración propia (2025).

De acuerdo a las tablas anteriores sobre el análisis de varianza que correspondiente a todos los grupos de plantas, se realizó una tabla del resultado después del análisis con prueba de Tukey sobre la efectividad que fueron mostrando los 3 tratamientos así como el tratamiento control conforme se fueron realizando las aplicaciones a lo largo de todo el proyecto experimental, desde el día 0 hasta el día 18, se registran en la tabla 4.11, posteriormente y con los resultados arrojados por esta prueba se creó una tabla sobre el conjunto de datos de cada uno de los grupos de plantas que se refiere a que letra distinta corresponde a que si existe diferencias significativa a comparación del promedio por muestra analizada, tabla 4.12.

Tabla 4. 11 - Resultados del análisis Tukey del grupo uno.

Numero de insectos días después de la aplicación (dda)							
Tratamiento	0 dda	3 dda	6 dda	9 dda	12 dda	15 dda	18 dda
T1	71.0	124.2	102.5	81.7	62	47	33.7
T2	68.5	71.2	61.2	53	43.5	33.7	22.5
T3	82.5	116.0	93.0	69.5	45.7	31.7	17.5
TC	67.5	71.0	74.5	77.2	80.2	83.7	87

Fuente: elaboración propia (2025).

La Figura 4.2 muestra los resultados obtenidos en la evaluación de la efectividad de los tratamientos aplicados al grupo uno.

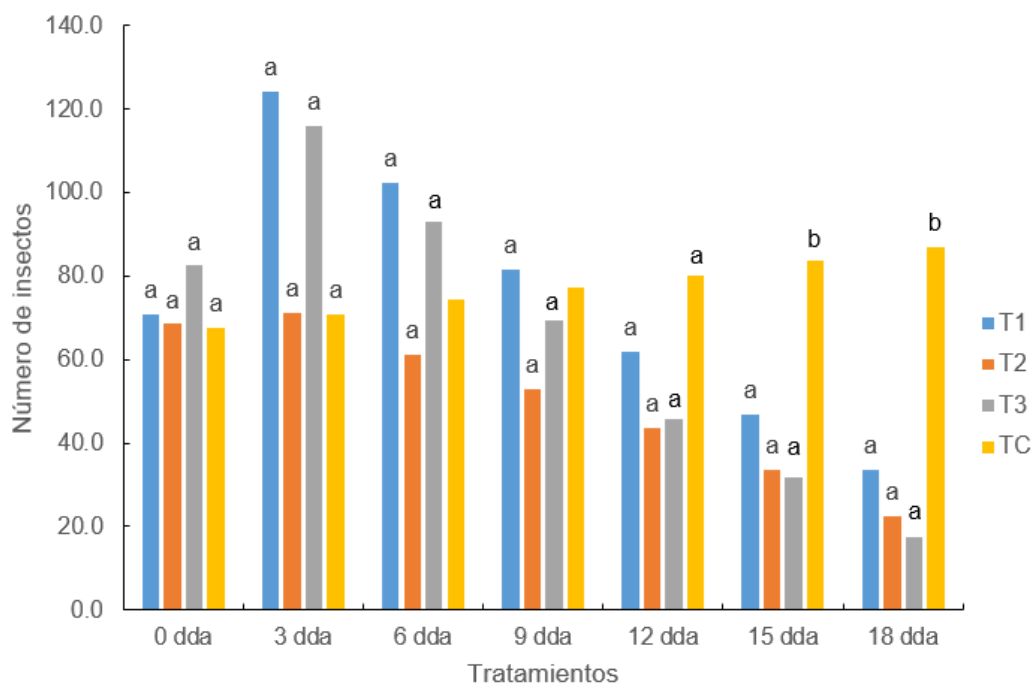


Figura 4.2 – Tratamientos con letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

En las siguientes tablas 4.13 a 4.19 se visualiza el resultado correspondiente al análisis de varianza de las 6 evaluaciones del oxalato de calcio en forma de bioinsecticida de acuerdo con resultados del análisis de varianza correspondiente al grupo número dos de plantas, haciendo uso del software Infostat.

Tabla 4.12 - Resultados del análisis de varianza antes de la primera aplicación de tratamientos correspondiente al grupo dos.

Análisis de varianza para el número de insectos en el cultivo de brócoli antes de la aplicación					
Factor de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Tratamiento	3	774.19	258.06	1.17	0.3730
Bloque	3	1298.19	432.73	1.97	1896
Error	9	1980.06	220.01		
Total	15	4052.44			
		Coeficiente de variación: 19.73% y R cuadrada: 0.51			

Fuente: elaboración propia (2025).

Tabla 4.13 - Resultados del análisis de varianza después de la primera aplicación de tratamientos correspondiente al grupo dos.

Análisis de varianza para el número de insectos en el cultivo de brócoli primera aplicación					
Factor de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Tratamiento	3	7861.19	2620.4	1.19	0.3677
Bloque	3	23564.69	7854.90	3.56	0.0603
Error	9	19837.06	2204.12		
Total	15	51262.94			
		Coeficiente de variación: 49.45% y R cuadrada: 0.61			

Fuente: elaboración propia (2025).

Tabla 4.14 - Resultados del análisis de varianza después de la segunda aplicación de tratamientos correspondiente al grupo dos.

Análisis de varianza para el número de insectos en el cultivo de brócoli segunda aplicación					
Factor de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Tratamiento	3	3116.69	1038.9	0.77	0.5402
Bloque	3	15955.19	5318.40	3.93	0.0479
Error	9	12172.56	1352.51		
Total	15	31244.44			
		Coeficiente de variación: 44.95% y R cuadrada: 0.61			

Fuente: elaboración propia (2025).

Tabla 4.15 - Resultados del análisis de varianza después de la tercera aplicación de tratamientos correspondiente al grupo dos.

Análisis de varianza para el número de insectos en el cultivo de brócoli tercera aplicación					
Factor de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Tratamiento	3	2253.69	751.23	1.23	0.3553
Bloque	3	8287.69	2762.56	4.51	0.0341
Error	9	5508.56	612.06		
Total	15	16049.94			
		Coeficiente de variación: 36.69% y R cuadrada: 0.66			

Fuente: elaboración propia (2025).

Tabla 4.16 - Resultados del análisis de varianza después de la cuarta aplicación de tratamientos correspondiente al grupo dos.

Análisis de varianza para el número de insectos en el cultivo de brócoli cuarta aplicación					
Factor de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Tratamiento	3	5524.25	1841.42	6.51	0.0124
Bloque	3	3953.25	1317.75	4.66	0.0314
Error	9	2546.25	282.92		
Total	15	12023.75			
		Coeficiente de variación: 30.93% y R cuadrada: 0.76			

Fuente: elaboración propia (2025).

Tabla 4.17 - Resultados del análisis del grupo número dos de varianza después de la quinta aplicación de tratamientos correspondiente al grupo dos.

Análisis de varianza para el número de insectos en el cultivo de brócoli quinta aplicación					
Factor de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Tratamiento	3	10202	3400.67	19.23	0.0003
Bloque	3	2010.50	670.17	3.79	0.0523
Error	9	1591.50	176.83		
Total	15	13804.00			
		Coeficiente de variación: 29.55% y R cuadrada: 0.88			

Fuente: elaboración propia (2025).

Tabla. 4.18 - Resultados del análisis de varianza del grupo número dos después de la sexta aplicación de tratamientos correspondiente al grupo dos.

Análisis de varianza para el número de insectos en el cultivo de brócoli sexta aplicación					
Factor de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Tratamiento	3	15851.25	5283.75	30.11	0.0001
Bloque	3	1015.25	338.42	1.93	0.1955
Error	9	1579.25	175.47		
Total	15	18445.75			
		Coeficiente de variación: 35.68% y R cuadrada: 0.91			

Fuente: elaboración propia (2025).

Resultado del análisis con prueba de Tukey sobre la efectividad que fueron mostrando los 3 tratamientos así como el tratamiento control conforme se fueron realizando las aplicaciones a lo largo de todo el proyecto experimental, desde el día 0 hasta el día 18, se registran en la tabla 4.20, posteriormente y con los resultados arrojados por esta prueba se creó una tabla de sobre el conjunto de datos de cada uno de los grupos de plantas que se refiere a que letra distinta corresponde a que si existe diferencias significativa a comparación del promedio por muestra analizada, tabla 4.21.

Tabla. 4.19 - Resultados del análisis Tukey del grupo dos.

Numero de insectos días después de la aplicación (dda)							
Tratamiento	0 dda	3 dda	6 dda	9 dda	12 dda	15 dda	18 dda
T1	74.2	120	99	76.2	56.2	40.5	28
T2	71	73.2	62.0	50	37.2	27	17.5
T3	86.7	114.0	89.7	63.2	40	25	12.2
TC	69.7	72.5	76.5	80.2	84	80.5	90.7

Fuente: elaboración propia (2025).

La Figura 4.3 muestra los resultados obtenidos en la evaluación de la efectividad de los tratamientos aplicados al grupo dos.

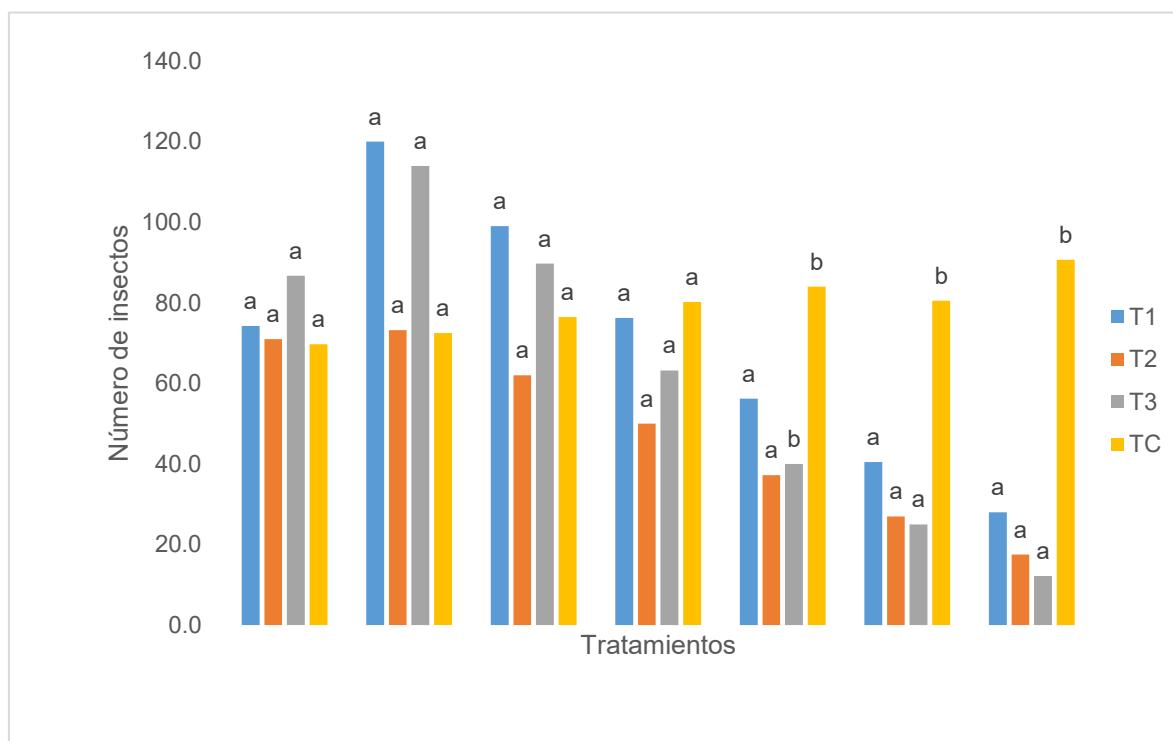


Figura 4.3 –. Tratamientos con letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

En las tablas 4.22 a 4.28 se presentan los resultados del análisis de varianza correspondiente a las seis evaluaciones del oxalato de calcio como bioinsecticida, realizadas en el grupo número tres de plantas, utilizando el software Infostat.

Tabla 4.20 - Resultado del análisis de varianza antes de la aplicación de tratamientos correspondiente al grupo tres.

Análisis de varianza para el número de insectos en el cultivo de brócoli antes de la aplicación					
Factor de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Tratamiento	3	710.69	236.9	1.2	0.3640
Bloque	3	1721.69	573.90	2.91	0.0936
Error	9	1776.56	197.4		
Total	15	4208.94			
Coeficiente de variación: 19.23% y R cuadrada: 0.58					

Fuente: elaboración propia (2025).

Tabla 4.21 - Resultado del análisis de varianza después de la primera aplicación de tratamientos correspondiente al grupo tres.

Análisis de varianza para el número de insectos en el cultivo de brócoli primera aplicación					
Factor de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Tratamiento	3	6735.5	2245.17	1.14	0.3843
Bloque	3	22056.50	7352.17	3.73	0.0542
Error	9	17730.00	1970		
Total	15	46522.00			
		Coeficiente de variación: 48.24% y R cuadrada: 0.62			

Fuente: elaboración propia (2025).

Tabla 4.22 - Resultado del análisis de varianza después de la segunda aplicación de tratamientos correspondiente al grupo tres.

Análisis de varianza para el número de insectos en el cultivo de brócoli segunda aplicación					
Factor de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Tratamiento	3	2385.25	795.08	0.71	0.5720
Bloque	3	14228.75	4742.92	4.21	0.0409
Error	9	10131.75	1125.75		
Total	15	26745.75			
		Coeficiente de variación: 42.54% y R cuadrada: 0.62			

Fuente: elaboración propia (2025).

Tabla 4.23 - Resultado del análisis de varianza después de la tercera aplicación de tratamientos correspondiente al grupo tres.

Análisis de varianza para el número de insectos en el cultivo de brócoli tercera aplicación					
Factor de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Tratamiento	3	1688.19	562.73	1.15	0.3802
Bloque	3	7322.69	2440.90	5.00	0.0261
Error	9	4397.56	488.62		
Total	15	13408.44			
		Coeficiente de variación: 33.91% y R cuadrada: 0.67			

Fuente: elaboración propia (2025).

Tabla 4.24 - Resultado del análisis de varianza después de la cuarta aplicación de tratamientos correspondiente al grupo tres.

Análisis de varianza para el número de insectos en el cultivo de brócoli cuarta aplicación					
Factor de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Tratamiento	3	4794.5	1598.17	8.22	0.0060
Bloque	3	3632.50	1210.83	6.23	0.0141
Error	9	1749.00	194.33		
Total	15	10176.00			
		Coeficiente de variación: 26.06% y R cuadrada: 0.83			

Fuente: elaboración propia (2025).

Tabla 4.25 - Resultado del análisis de varianza después de la quinta aplicación de tratamientos correspondiente al grupo tres.

Análisis de varianza para el número de insectos en el cultivo de brócoli quinta aplicación					
Factor de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Tratamiento	3	9467.19	3155.73	24.14	0.0001
Bloque	3	2039.69	679.90	5.20	0.0234
Error	9	1179.56	130.73		
Total	15	12683.44			
		Coeficiente de variación: 25.59% y R cuadrada: 0.91			

Fuente: elaboración propia (2025).

Tabla 4.26 - Resultado del análisis de varianza después de la sexta aplicación de tratamientos correspondiente al grupo tres.

Análisis de varianza para el número de insectos en el cultivo de brócoli sexta aplicación					
Factor de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Tratamiento	3	15358.69	5119.56	35.18	0.0001
Bloque	3	1194.69	398.23	2.74	0.1056
Error	9	1309.56	145.51		
Total	15	17862.94			
		Coeficiente de variación: 32.66% y R cuadrada: 0.93			

Fuente: elaboración propia (2025).

Resultado del análisis con prueba de Tukey sobre la efectividad que fueron mostrando los 3 tratamientos así como el tratamiento control conforme se fueron realizando las aplicaciones a lo largo de todo el proyecto experimental, desde el día 0 hasta el día 18, se registran en la tabla 4.29, posteriormente y con los resultados arrojados por esta prueba se creó una tabla de sobre el conjunto de datos de cada uno de los grupos de plantas que se refiere a que letra distinta corresponde a que si existe diferencias significativa a comparación del promedio por muestra analizada, tabla 4.30.

Tabla 4.27 - Resultados del análisis Tukey del grupo tres.

Numero de insectos días después de la aplicación (dda)							
Tratamiento	0 dda	3 dda	6 dda	9 dda	12 dda	15 dda	18 dda
T1	72.2	115.5	94.5	71.7	52.7	39.2	26.7
T2	69.7	73	61.7	51.2	40.2	29.7	20
T3	84	109.2	85.0	60	39	24	11.2
TC	66.2	70.2	74.2	77.7	82	85.7	89.7

Fuente: elaboración propia (2025).

En la Figura 4.4 se presentan los resultados de la evaluación de la efectividad de los tratamientos en el grupo tres.

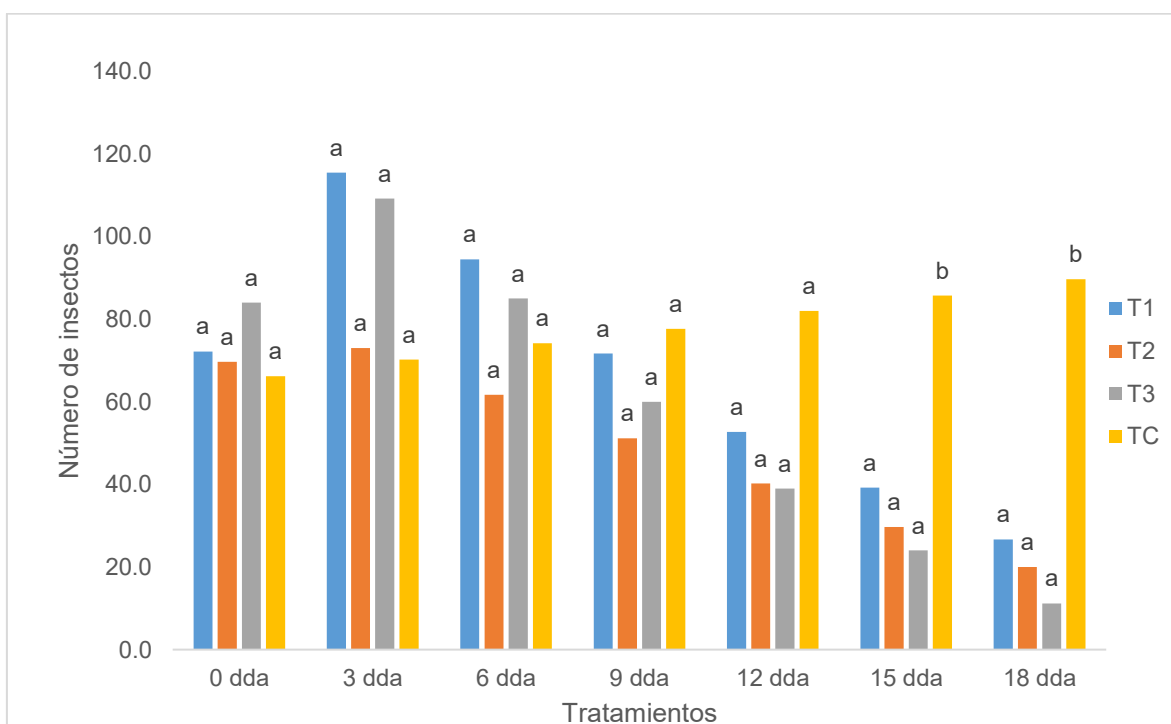


Figura 4.4 – Tratamientos con letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

4.3 Discusión de los resultados.

El análisis de los datos obtenidos a lo largo del experimento permitió evaluar con la efectividad del oxalato de calcio extraído de *Zantedeschia aethiopica* como agente bioinsecticida frente a *Brevicoryne brassicae*. A lo largo de los seis conteos realizados tras la aplicación de los tratamientos, se mostró una disminución significativa y progresiva en la población de pulgones en los tratamientos T1 (0.3 g de oxalato de calcio) y, especialmente, en T2 (0.9 g), siendo este último el que mostró mayor eficacia, similar al tratamiento con insecticida comercial (T3).

En el primer conteo (3 días después de la dosis inicial), los tratamientos T2 y T3 comenzaron a mostrar una disminución sostenida en la cantidad de insectos, en contraste con el grupo control (TC), donde se observó un incremento continuo en la población de pulgones a lo largo del periodo experimental. Este comportamiento fue consistente en los tres grupos evaluados, lo que refuerza la confiabilidad de los resultados.

Los tratamientos con oxalato de calcio demostraron un efecto insecticida acumulativo. En T2, la concentración más alta, el número promedio de insectos descendió desde cifras iniciales de entre 70-80 insectos por planta hasta valores cercanos a 20 o menos hacia el último conteo (día 18), resultado comparable al T3, donde las poblaciones llegaron incluso a estar por debajo de 15 insectos. El tratamiento T1, con una concentración menor de oxalato, mostró también una tendencia de disminución en la población de *B. brassicae*, aunque con una eficacia inferior a T2 y T3.

En cuanto al análisis estadístico, las tablas derivadas de la prueba de Tukey respaldaron las diferencias significativas entre los tratamientos. Se observó que, al inicio de los tratamientos no existía diferencia estadísticamente significativa puesto que ningún tratamiento en el valor P era mayor al 0.05 esto se comenzó a observar en el segundo conteo pero solo en los bloques mostrando un valor de P menor a 0.05 mientras que en tratamiento seguía sin mostrar diferencia, siendo hasta a la segunda aplicación cuando se comenzó a observar diferencia estadísticamente

significativa, y posteriormente esta diferencia con forme más días de aplicación pasaban mayor era la diferencia, cabe mencionar que a partir del día 15 , el tratamiento control (TC) comenzó a mostrar diferencias estadísticas claras con respecto al resto de los tratamientos (T1, T2 y T3). Esto sugiere que tanto el insecticida comercial como el oxalato de calcio, especialmente en su concentración de 0.9 g (T2), fueron efectivos en la reducción de la plaga, validando la hipótesis de que el oxalato de calcio posee efectos insecticidas semejantes a los de un producto convencional.

En las gráficas de las Figuras 4.2, 4.3 y 4.4, correspondientes a cada grupo experimental, puede observarse con claridad que baja la población de insectos conforme se realizaban las aplicaciones entre cada uno de los tratamientos (T1, T2, T3) frente al aumento progresivo en el grupo control. Esta gráfica muestra los mismos resultados que los números y promedios presentados en las tablas, lo que confirma que el análisis es correcto. Las letras asignadas por la prueba de Tukey en los puntos finales del experimento también confirmaron las diferencias estadísticamente significativas, destacando al grupo control como estadísticamente distinto.

De acuerdo con el grafico y observando las barras, se puede ver de manera clara que la barra de reducción más eficiente correspondió al tratamiento T3, con un descenso más rápido y pronunciado, sin embargo, el tratamiento T2 por su parte se mantuvo con resultados muy similares al T3, lo que sugiere que el oxalato de calcio puede representar una alternativa sosteniblemente viable, particularmente si se considera que su obtención proviene de residuos vegetales usados en procesos de electrofitorremediación, alineándose así con los principios de la economía circular.

Otro aspecto destacable es que el tratamiento T1, pese a ser menos eficaz que T2, también generó una reducción progresiva de la plaga, lo que sugiere que incluso dosis moderadas del bioinsecticida pueden ser útiles en el manejo integrado de plagas, aunque con una eficacia más lenta o limitada. Este aspecto podría aprovecharse para un manejo diferencial en fases tempranas del cultivo, en combinación con otras prácticas agrícolas más ecológicas.

Finalmente, estos resultados no solo validan la eficacia insecticida del oxalato de calcio, sino que también permiten proponer su uso como una alternativa de bajo impacto ambiental para el manejo de *Brevicoryne brassicae*, al tiempo que se ofrece una solución al problema del manejo de residuos contaminados en procesos de remediación.

CONCLUSIÓN

La presente investigación permitió evaluar la eficiencia del oxalato de calcio, extraído de *Zantedeschia aethiopica*, como alternativa biológica para el control de *Brevicoryne brassicae*, una plaga común en cultivos de brócoli. A partir del análisis comparativo de los tratamientos aplicados, se observó que las concentraciones de oxalato utilizadas, en particular la de 0.9 g (T2), mostraron una eficacia notable en la reducción progresiva de la población del insecto, obteniéndose resultados similares a los del insecticida comercial empleado como referencia.

Se logró comprobar que este compuesto, derivado de residuos vegetales utilizados en procesos previos de electrofitorremediación, conserva propiedades insecticidas capaces de ofrecer una alternativa eficaz y más sustentable frente al uso de productos químicos convencionales. El cual resulta relevante tanto para la gestión de residuos en procesos de remediación, y el impacto ambiental generado por el uso indiscriminado de insecticidas en el campo de la agricultura hoy en día, al brindar una solución que integra el aprovechamiento de subproductos con el control de plagas bajo un enfoque de economía circular.

Cabe destacar que el oxalato de calcio es un compuesto de interés en diversas áreas. En el campo de la agricultura, se ha utilizado en investigaciones relacionadas con la defensa vegetal, la biodisponibilidad de nutrientes y la respuesta al estrés ambiental. Asimismo, se reconoce su potencial en el tratamiento de aguas residuales, debido a su capacidad para formar precipitados que facilitan la remoción de ciertos contaminantes.

Resulta importante señalar que este es un campo poco explorado hasta ahora, pero con gran potencial para futuras líneas de investigación orientadas al saneamiento y reutilización del recurso hídrico. El uso del oxalato de calcio como bioinsecticida representa un aporte a las estrategias de manejo integrado de plagas, al tiempo que refuerza la importancia de desarrollar tecnologías que cierren el ciclo de los materiales en procesos ambientales. Con ello, se avanza hacia modelos productivos más sostenibles, que no sólo reducen impactos negativos en el entorno, sino que también fomentan prácticas agrícolas más sostenibles.

Bibliografía

- Alvarado, C. (2020, junio 30). Plantas utilizadas en la fitorremediación. La Contaminación. <https://lacontaminacion.org/plantas-utilizadas-en-la-fitorremediacion/>
- Antolín, M. R. (2023, octubre 2). Flor de alcatraz: características y cuidados. Jardinus. <https://www.jardinus.com/flor-de-alcatraz-caracteristicas-y-cuidados-386.html>
- Cárdenas, N., Diez de Bonilla, D., García, N., & Santiago, J. (2018). Bioinsecticida elaborado a partir de oxalato de calcio extraído de *Zantedeschia aethiopica*. <https://vinculacion.dgire.unam.mx/vinculacion-1/Memoria-Congreso-2018/trabajos/ciencias-biologicas-quimicas-y-de-la-salud/biologia/doc12.pdf>
- Castresana, J. (2020). Eficacia de insecticidas botánicos sobre *Myzus persicae* (Sulzer) y *Aphis gossypii* (Clover) (Hemiptera: Aphididae) en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta. www.scielo.org.co. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i>
- Chaves N., & Gutiérrez, M. (2016). Respuestas al estrés por calor en los cultivos. I. Aspectos moleculares, bioquímicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 237. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1659-13212017000100020&script=sci_abstract&tlng=es
- Crespo, C. (2024, 10 diciembre). Reconocimiento del pulgón de las crucíferas - PortalFruticola.com. Portal Frutícola. <https://www.portalfruticola.com/noticias/2017/11/03/reconocimiento-del-pulgon-de-las-cruciferas/>
- Cruz, J., & Torres, P. (2017). 'Deja Vu' un nuevo cultivar de alcatraz (*Zantedeschia aethiopica*). <https://www.redalyc.org/pdf/609/60950914003.pdf>

- Da Costa, C. C. (2022). La Economía Circular como eje de desarrollo de los países latinoamericanos. *Deleted Journal*, 35, 1-18. <https://doi.org/10.25097/rep.n35.2022.01>
- Da Silveira, E. (2016). Un bioinsecticida elaborado con microorganismos. <https://revistapesquisa.fapesp.br/es/un-bioinsecticida-elaborado-con-microorganismos/>
- Fenoll, J. C. (2025, 11 abril). Guía Completa sobre el Pulgón: Ciclo de Vida, Daños e Identificación. AgroNutrients. <https://agronutrients.com/blog/guia-completa-pulgon/>
- Fernández, L. (2020, 11 mayo). Descontaminación del agua: qué es y métodos. [ecologiaverde.com. https://www.ecologiaverde.com/descontaminacion-del-agua-que-es-y-metodos-2610.html](https://www.ecologiaverde.com/descontaminacion-del-agua-que-es-y-metodos-2610.html)
- Galicia, S., Vázquez, O., Luna, V., & P. Volvides, A. (s. f.). Cristales de oxalato de calcio en plantas: morfología y función. INECOL. <http://www.inecol.edu.mx/index.php/divulgacion/ciencia-hoy/cristales-de-oxalato-de-calcio-en-plantas-morfologia-y-funcion>
- García, R. (2017). Operación de una planta de tratamiento biológico. http://www.bib.uia.mx/tesis/pdf/014910/014910_01.pdf
- García, U. (2023, noviembre 15). Pulgones: Conoce los diferentes tipos y su impacto en las plantas. Planta Raíces. https://plantaraices.com/tipos-pulgones/#google_vignette
- Gómez, D. (2024, 3 noviembre). Reutilización de Residuos Agrícolas para una Gestión Sostenible. Idi-a.es. <https://idi-a.es/reutilizacion-de-residuos-agricolas-en-la-gestion-sostenible/>
- Gómez, O. (2021). Una nueva perspectiva del oxalato de calcio en la planta antártica *Colobanthus quitensis*. Researchgate. https://www.researchgate.net/publication/357167673_Una_nueva_perspectiva_del_oxalato_de_calcio_en_la_planta_antartica_Colobanthus_quitensis

- González, A. (2024). Electrofitorremediación de aguas grises de una comunidad en Huanímaro, Gto. Mediante *Zantedeschia aethiopica*. Instituto Tecnológico Superior de Abasolo.
- González, M. (2013). Síntesis sobre el uso de bioinsecticidas y otros agentes de control biológico de plagas en México. Researchgate. https://www.researchgate.net/publication/259944646_Sintesis_sobre_el_uso_de_bioinsecticidas_y_otros_agentes_de_control_biologico_de_plagas_en_Mexico
- González, M., Salas, M., & Martínez, O. (2015). Densidad poblacional del pulgón cenizo de la col *brevicoryne brassicae* (L.) (hemiptera: aphididae) y su relación con la temperatura y su parasitoide *diaeretiella rapae* (M'Intosh) (hemiptera: aphidiidae), en el cultivo de brócoli en el bajo, México. <https://www.acaentmex.org/entomologia/revista/2015/EA/PAG%20%20423-428.pdf>
- González, G., & Vargas-Hernández, J. G. (2017). La economía circular como factor de la responsabilidad social. *Revista de Coyuntura y Perspectiva*, 2(3). http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2415-06222017000300004
- Guevara, I. (2025, 13 marzo). Pulgón blanco: qué es, cómo afecta a las plantas y cómo prevenirlo y eliminarlo. El Mueble. https://www.elmueble.com/plantas-flores/pulgon-blanco-que-es-como-afecta-plantas-como-prevenirlo-eliminarlo_51265
- Guzmán, F (2023, marzo 27). Cómo cuidar alcatraces: 5 trucos para mantenerlos hermosos. CocinaDelirante. <https://www.cocinadelirante.com/hogar/como-cuidar-alcatraces-5-trucos-para-mantenerlos-hermosos>
- Isan, A. (2017, 24 noviembre). Fitorremediación: plantas que limpian el suelo, agua o aire. ecologiaverde.com. <https://www.ecologiaverde.com/fitorremediacion-plantas-que-limpian-el-suelo-agua-o-aire-533.html>

- Espinoza, G. (2020, 27 junio). Pulgones, áfidos (Aphididae), características, tipos y cómo combatirlos. Animales y Biología. <https://animalesbiologia.com/invertebrados/artropodos/pulgones-afidos-aphididae>
- Manzano, V., Cedillo, L., Romero, O., & Rivera, A. (2024). Plaguicidas en la producción agrícola y su impacto en la salud pública en México. Revista Iberoamericana de Ciencias. <https://reibci.org/publicados/2024/mzo/5300104.pdf>
- Márquez, S. (2020, 8 octubre). Pulgones, qué son y cómo viven Fanmascotas. Fanmascotas. <https://www.fanmascotas.com/pulgones-ciclo-vida-alimentacion-hormigas/>
- McGrath, A., & Jonker, A. (2024, 19 abril). economía circular. IBM. <https://www.ibm.com/mx-es/topics/circular-economy>
- Melara, J. (2022, 14 septiembre). Flores mexicanas y sus cuidados: conoce las más populares. Cocina Fácil. <https://www.cocinafacil.com.mx/tips-de-cocina/flores-mexicanas-mas-populares>
- Menéndez, G., Saavedra, M., & Díaz, A. (2025). Estrategias de Economía Circular en la Gestión de Residuos Sólidos: Impacto Ambiental y Optimización de Recursos. https://www.researchgate.net/publication/388650035_Estrategias_de_Economia_Circular_en_la_Gestion_de_Residuos_Solidos_Impacto_Ambiental_y_Optimizacion_de_Recursos
- Muñoz, J., Capilla, M., Gordillo, X., & Muñoz, J. (2024). El impacto del uso inadecuado de agroquímicos y riego intensivo en la degradación del suelo: del cultivo al yermo. Zenodo. <http://doi.org/10.5281/zenodo.12510276>
- Redacción National Geographic. (2024). National Geographic. <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2022/05/economia-circular-que-es-y-por-que-beneficia-al-medio-ambiente>

- Navarro, C., & García, F. (2014). Identificación Pulgones y sus enemigos naturales. https://www.researchgate.net/publication/262262058_Guia_de_identifi_cacion_Pulgones_y_sus_enemigos_naturales
- Ondarza, M. (2017). Biopesticidas: tipos y aplicaciones en el control de plagas agrícolas [biopesticidas. https://www.researchgate.net/publication/316598315_BIOPESTICIDAS_TIP_OS_Y_APLICACIONES_EN_EL_CONTROL_DE_PLAGAS_AGRICOLAS_BIOPESTICIDES_TYPES_AND_APPLICATIONS_IN_THE_CONTROL_OF_AGRICULTURAL_PESTS_AGRO_PRODUCTIVIDAD_AGRO_PRODUCTIVIDAD](https://www.researchgate.net/publication/316598315_BIOPESTICIDAS_TIP_OS_Y_APLICACIONES_EN_EL_CONTROL_DE_PLAGAS_AGRICOLAS_BIOPESTICIDES_TYPES_AND_APPLICATIONS_IN_THE_CONTROL_OF_AGRICULTURAL_PESTS_AGRO_PRODUCTIVIDAD_AGRO_PRODUCTIVIDAD)
- Osterrieth, M., & Oyarbide, F. (2017). Biominerales de oxalato de calcio en suelos de laguna de los padres, buenos aires, argentina. Researchgate. https://www.researchgate.net/publication/237393047_BIOMINERALES_DE_OXALATO_DE_CALCIO_EN_SUELOS_DE_LAGUNA_DE_LOS_PADRES_BUENOS_AIRES_ARGENTINA
- Peña, R. (2017). Identificación de los pulgones (*Hemiptera:Aphididae*) de cereales en México. https://www.researchgate.net/publication/320291122_Guia_ilustrada_para_la_identificacion_de_los_pulgones_HemipteraAphididae_de_cereales_en_Mexico
- Perea, A. (2021). Elaboración de un manual para producir brócoli (*brassica oleracea* var. [imperial](https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/bitstream/123456789/26285/1/cbsCD190422194204ubww.pdf)). <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/bitstream/123456789/26285/1/cbsCD190422194204ubww.pdf>
- Pérez, G. (s. f). Oxalato de calcio Oxalato. com. https://www.oxalato.com/oxalato_de_calcio
- Piola, J. (2013). Plantas que contienen oxalatos. Sertox. <https://sertox.ar/plantas-que-contienen-oxalatos/>

- Portela, R. (2021, 23 enero). ¿Cómo se defienden las plantas? Mecanismos de defensa de las plantas. Ciencia y Biología. https://cienciaybiologia.com/mecanismos-de-defensa-de-las-plantas/#google_vignette
- Ramírez, C. (2022). "Electrofitorremediación de suelo contaminado con cobre mediante el uso de spinacia oleracea (Instituto Tecnológico del Valle de Morelia). <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/bitstream/TecNM/5065/1/RAMIREZ%20RAMIREZ%20CARLOS%20AUGUSTO.pdf>
- Reguera, E. (2025, marzo 13). Qué es la Economía Circular Según la ONU: Principios y Objetivos. Aprende Economía. <https://aprendeeconomia.info/que-es-la-economia-circular-segun-la-onu/>
- Reinoso, M., & Bárcenas, R. (2009). CRISTALES DE OXALATO DE CALCIO EN CACTACEAS y SU RELACIÓN CON LOS ESTOMAS. https://www.uaq.mx/investigacion/difusion/veranos/memorias-2009/OctavoVerano_38/29_Reinoso_Perez.pdf
- Reyes, C. (2017, 14 noviembre). Pulgón del algodonerero – Información. Panorama AGROPECUARIO. <https://panorama-agro.com/?p=1722>
- Romero, G. (2024). Hacia una gestión sostenible de los residuos: obstáculos y estrategias para el cambio. RETEMA. <https://www.retema.es/articulos-reportajes/hacia-una-gestion-sostenible-de-los-residuos-obstaculos-y-estrategias-para-el>
- Rodríguez, E. (2020, 24 diciembre). Pulgón de la col (*Brevicoryne brassicae*). Agroproductores. https://agroproductores.com/pulgon-de-la-col-brevicoryne-brassicae/#google_vignette
- Sánchez, K. R., Zúñiga, O. C., & Meneses, M. B. (2019). Determinación de la presencia de cristales de oxalato de calcio asociados a la enfermedad

- abiótica conocida como “Mancha Blanca” en *Hylocereus costaricensis*.
Agronomía Costarricense. <https://doi.org/10.15517/rac.v43i2.37950>
- Stea, M. (2020, 4 marzo). *Oxalato de calcio (CaC₂O₄): propiedades, estructura, usos, riesgos*. Lifeder. <https://www.lifeder.com/oxalato-de-calcio/>
- Swan, R. (2025, 13 junio). 31 Plants to Grow in Your Greenhouse. Traditional Gardening. <https://traditionalgardening.com/greenhouse-plants/>
- Telletxea, N., Goñi, C., Aldaz, S., & Lezáun, J. (2022). Control de plagas en brócoli. Estudio del efecto de la asociación de especies vegetales en los niveles de plaga y fauna auxiliar. Interempresas. <https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/377021-Control-plagas-brocoli-Estudio-efecto-asociacion-especies-vegetales-niveles-plaga-fauna.html>
- Vázquez, J. (2023, 3 abril). Alcatraz. Lifeder. Recuperado el 23 de junio de 2025, de <https://www.lifeder.com/alcatraz/>
- Zamora, E. (2016). EL CULTIVO DEL BROCOLI. <https://dagus.unison.mx/Zamora/BROCOLI-DAG-HORT-010.pdf>

