

Universidad Iberoamericana



Congreso Científico Juvenil

Informe Final

Tema

Creación de un insecticida orgánico como alternativa para reducir el impacto tóxico de los insecticidas químicos en árboles y plantas.

Integrantes

Avril Dominici (25-0019)

Daniela Bisonó (25-0095)

Segundo Semestre

Santo Domingo, República Dominicana

Viernes, 4 de Abril, 2025

ÍNDICE

Solo debe hacer clic para acceder directamente a la sección del trabajo que desea consultar.

1. Introducción (4)

2. Antecedentes (6)

3. Planteamiento del Problema (8)

3. 1. Preguntas de investigación (9)

4. Objetivo General (10)

5. Objetivos Específicos (10)

6. Justificación del Proyecto (12)

7. Fundamento Teórico (14)

Principios Físicos Aplicados y Fórmulas (17)

I . Ley de Stokes – Velocidad de sedimentación de partículas (18)

II . Transporte y dispersión por viento (simulación de dinámica de fluidos)

(19)

¿Cómo esto ayuda a entender el impacto tóxico de los insecticidas químicos en

árboles y plantas? (20)

8. Materiales y Metodología (21)

8.1. Composición del Insecticida Orgánico (22)

8.2. Composición del jabón potásico (24)

8.3. Bloque Físico: Evaluación de la dispersión y toxicidad ambiental de insecticidas

(25)

9. Parte Experimental (26)

9.1. Preparación del Insecticida Orgánico (26)

9.1.1. Materiales	(26)
9.1.2. Vestimenta y Medidas de Seguridad	(26)
9.1.3. Procedimiento	(26)
9.1.4. Consideraciones Finales	(27)
9.2. Procedimiento Experimental	(28)
9.2.1. Diseño Experimental	(28)
9.2.2. Procedimiento Experimental Detallado	(29)
9.2.3. Escalas de Evaluación y Validación de Datos	(30)
9.2.4. Establecimiento de Validez y Confiabilidad	(30)
9.3. Protocolo de Seguridad (aplicación válida para ambos insecticidas)	(31)
9.3.1. Equipamiento de Protección Personal (EPP)	(31)
9.3.2. Medidas de Seguridad Durante la Preparación y Aplicación	(31)
9.3.3. Procedimiento de almacenamiento del Insecticida	(32)
9.3.4. La gestión de desechos en el entorno doméstico	(32)
9.3.5. En Caso de Contacto Accidental	(33)
9.4. Evaluación experimental del comportamiento físico de insecticidas	(33)
9.4.1. Materiales	(33)
9.4.2. Pruebas de dispersión y toxicidad en condiciones físicas controladas	(34)
10. Resultados	(36)
10.1. Comportamiento de las plantas frente a los diferentes tratamientos	(36)
10.1.1. Grupo con Insecticida Orgánico (GO)	(36)
10.1.2. Grupo con Insecticida Químico (GQ)	(39)
10.1.3. Grupo de Control (GC)	(40)

10.2. Resultados del Bloque Físico: Evaluación de la Toxicidad Ambiental	(41)
10.2.1. Simulación con agua y colorante (prueba control)	(42)
10.2.2. Insecticida químico	(42)
10.2.3. Insecticida orgánico	(42)
11. Análisis de Resultados	(44)
11.1. Análisis del comportamiento de las plantas frente a los diferentes tratamientos	(44)
Tabla 1. Distribución de Grupos Experimentales	(44)
Tabla 2. Presencia de Plagas (por hoja)	(45)
Tabla 3. Condición de las Hojas (Fitotoxicidad)	(47)
<i>Gráficos de la tabla 3</i>	(50)
Tabla 4. Medición de pH del Suelo	(53)
Tabla 5. Presencia de Residuos en el Agua Drenada	(55)
Tabla 6. Evaluación de la Efectividad del Insecticida	(57)
11.2. Análisis de los resultados del Bloque Físico: Evaluación de la Toxicidad Ambiental	(58)
12. Conclusión	(61)
13. Recomendaciones	(63)
REFERENCIAS	(65)
ANEXOS	(72)

1. Introducción

Los seres humanos han usado insecticidas químicos durante años para proteger sus cultivos y jardines, confiando en su capacidad para eliminar plagas de forma rápida. Sin embargo, con el tiempo hemos comenzado a ver el otro lado de esta práctica: daños al medio ambiente, contaminación del agua y del suelo, y la afectación de especies que no eran el objetivo. Como señala Cabezas (2025), los plaguicidas afectan a más de 800 especies terrestres y acuáticas, alterando su crecimiento, reproducción y comportamiento, lo cual tiene consecuencias directas sobre la biodiversidad.

Frente a esta problemática, se ha empezado a promover el uso de insecticidas orgánicos elaborados con ingredientes naturales. Estas alternativas buscan ser efectivas para el control de plagas, pero con un impacto ambiental mucho menor. Este tipo de iniciativas también se vinculan directamente con la educación ambiental, un componente esencial en la formación de nuevas generaciones comprometidas con la sostenibilidad. Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, 2024), “la educación ambiental ayuda a los estudiantes a comprender cómo sus decisiones y acciones afectan el medio ambiente, y les brinda las herramientas necesarias para tomar decisiones informadas y responsables”.

La implementación de proyectos científicos escolares que integren estos enfoques no solo permite explorar soluciones más ecológicas, sino también fortalecer la conciencia ambiental desde la práctica. Es de suma importancia el valor de propuestas educativas que combinan ciencia y sostenibilidad, como el ciclo de Educación y Control Ambiental del IES El Getares, en el que se capacita a estudiantes para desempeñar un papel activo en la protección del entorno. (Masallá, 2025)

Este proyecto busca elaborar y probar un insecticida orgánico a base de cítricos, y compararlo con un insecticida químico convencional. Se observará cómo afectan a distintas plantas, se medirá el pH del suelo y se simulará la dispersión del producto para entender su comportamiento en el ambiente. El enfoque de este proyecto no es solo saber cuál funciona mejor, sino también cuál cuida más el entorno.

Lo que se espera es que esta alternativa orgánica resulte igual de útil para combatir plagas, pero sin las consecuencias negativas que arrastra lo químico. Así, algo tan simple como una cáscara de limón puede convertirse en una herramienta poderosa, y al mismo tiempo, en una forma de aprender a cuidar mejor el planeta.

2. Antecedentes

Durante décadas, el control de plagas en la agricultura y en los entornos urbanos ha estado dominado por el uso de insecticidas químicos. Si bien han demostrado ser eficaces, el conocimiento actual sobre sus efectos secundarios ha encendido alarmas. Estos productos afectan gravemente a la biodiversidad, al dañar tanto a las especies objetivo como a otras muchas que resultan afectadas de manera indirecta. Los plaguicidas afectan a más de 800 especies terrestres y acuáticas, alterando su crecimiento, reproducción y comportamiento (Cabezas, 2025), lo que representa una amenaza real para el equilibrio ecológico.

Frente a este panorama, se ha comenzado a priorizar el uso de insecticidas orgánicos como alternativa sostenible. Estos productos, elaborados a partir de ingredientes naturales como extractos de plantas y aceites esenciales, no solo reducen la carga química sobre el medio ambiente, sino que también son accesibles y fáciles de preparar. Este tipo de soluciones no solo cuida los cultivos, sino que además mantiene una línea de respeto en el entorno natural, la fauna auxiliar y mejora la salud del suelo y del agua (Communications, 2023).

Esta transición hacia métodos ecológicos también encuentra un importante aliado en la educación. La incorporación de contenidos ambientales en los proyectos escolares permite que los estudiantes comprendan los desafíos actuales y se involucren activamente en la construcción de soluciones. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, 2024) sostiene que “la educación ambiental ayuda a los estudiantes a comprender cómo sus decisiones y acciones afectan el medio ambiente”, promoviendo así una ciudadanía más consciente y responsable.

Ejemplos concretos de este enfoque pueden verse en iniciativas como el ciclo formativo de Educación y Control Ambiental del IES El Getares en Algeciras, donde se preparan jóvenes para aplicar conocimientos científicos y técnicos en el cuidado del entorno (Masallá, 2025). Estas experiencias demuestran que la ciencia, la sostenibilidad y la educación pueden converger para formar propuestas efectivas y transformadoras.

De este modo, el desarrollo y evaluación de un insecticida orgánico a base de cítricos representa no solo una respuesta al problema del uso de químicos, sino también una oportunidad pedagógica para vincular la experimentación científica con la acción ecológica.

3. Planteamiento del Problema

Las plagas representan una amenaza constante para la salud de las plantas, tanto en contextos agrícolas como urbanos. Su presencia puede comprometer el desarrollo de cultivos y jardines, afectando no solo la producción de alimentos, sino también la biodiversidad de los ecosistemas (Agbar Agriculture, 2024). Para controlar esta situación, se ha recurrido históricamente al uso de insecticidas químicos, cuya eficacia ha sido ampliamente comprobada. Sin embargo, su uso intensivo ha traído consigo efectos negativos colaterales que hoy resultan preocupantes: la contaminación de suelos y cuerpos de agua, el efecto en especies benéficas como polinizadores, y la exposición a sustancias tóxicas por parte de seres humanos y animales domésticos (Altieri, 2010).

Ante esta realidad, surge la necesidad de buscar alternativas que mantengan la eficacia en el control de plagas, pero que minimicen los impactos negativos en el ambiente. Los insecticidas orgánicos, elaborados a partir de componentes naturales como las cáscaras de cítricos, se muestran como una opción viable y accesible. De igual forma, aún se requiere evidencia científica que respalde su efectividad comparativa frente a los productos químicos tradicionales, así como datos sobre su comportamiento físico en el entorno una vez aplicados.

El problema principal que se plantea en esta investigación es la falta de soluciones ampliamente probadas que combinen eficacia en el control de plagas con bajo impacto ambiental. Además, se desconoce en qué medida la aplicación de un insecticida orgánico puede reducir los niveles de toxicidad en el aire, agua y suelo, en comparación con un producto sintético. En este contexto, se plantea la hipótesis de que *un insecticida orgánico desarrollado para el control de plagas tiene un menor impacto ambiental (aire, agua y suelo)*

en comparación con los insecticidas químicos convencionales, mientras sigue siendo efectivo en la protección de las plantas.

3. 1. Preguntas de investigación

- A. ¿El insecticida orgánico de cítricos es igual de efectivo que un insecticida químico convencional en el control de plagas en plantas?
- B. ¿Qué impacto tiene cada tipo de insecticida en el pH del suelo y en el estado general de las plantas?
- C. ¿Cómo se comporta cada insecticida en el ambiente en términos de dispersión y posible contaminación del aire y agua?

4. Objetivo General

- Desarrollar un insecticida orgánico para el control de plagas y comparar su efectividad e impacto ambiental con los insecticidas químicos; simultáneamente evaluar la toxicidad de ambos tipos de insecticidas en el aire, agua y suelo.

5. Objetivos Específicos

- *Identificar los efectos negativos de los insecticidas químicos* en el medio ambiente (aire, agua y suelo), así como su impacto en la salud de las plantas y árboles.
- *Formular y desarrollar un insecticida orgánico* a base de cáscaras de naranja y otros componentes naturales, garantizando su estabilidad y seguridad en su aplicación.
- *Comparar la eficacia del insecticida orgánico con un insecticida químico convencional*, evaluando su capacidad para controlar plagas en diferentes etapas de crecimiento de las plantas.
- *Analizar el impacto ambiental de los insecticidas aplicados* mediante la medición de cambios en el pH del suelo, la toxicidad en el agua y la dispersión de residuos en el aire.
- *Observar los efectos del insecticida orgánico en la salud y desarrollo de las plantas*, considerando indicadores como el color, tamaño y vitalidad de las hojas, así como la presencia o ausencia de plagas.
- *Proponer el insecticida orgánico como una alternativa viable y sostenible* para la protección de plantas y árboles, con base en los resultados obtenidos sobre su efectividad y menor impacto ambiental.

→ **Evaluar** los efectos de los insecticidas en el medio ambiente y *cómo los procesos físicos* en los espacios verdes urbanos contribuyen a la reducción de su toxicidad en aire, agua y suelo.

6. Justificación del Proyecto

En un contexto donde el uso de productos químicos para controlar plagas se vuelve cada vez más insostenible, desarrollar alternativas ecológicas como los insecticidas orgánicos es más necesario que nunca. Los efectos negativos de los productos sintéticos como la contaminación, la pérdida de biodiversidad y los riesgos para la salud nos empujan a buscar soluciones más seguras y responsables.

Este proyecto tiene valor porque propone una alternativa concreta y accesible: un insecticida hecho a partir de cáscaras de cítricos, un residuo común, biodegradable y económico. Además de reducir la exposición a toxinas, promueve la reutilización de desechos domésticos y fomenta una conciencia ambiental activa.

Lo que hace especial a esta investigación es que no se queda solo en comprobar si el producto funciona. También utiliza herramientas de la física para entender cómo se mueve en el ambiente, qué tan lejos puede llegar y qué implicancias tiene eso para el ecosistema. Esta mirada más amplia permite comprender mejor el problema del manejo de plagas desde diferentes ángulos: científico, ecológico y educativo.

A nivel educativo, el proyecto también es significativo, ya que promueve el pensamiento crítico, el trabajo científico y el compromiso con el medio ambiente desde una experiencia práctica. Su aplicación puede extenderse a huertos escolares, jardines urbanos y hogares, facilitando la apropiación de saberes científicos por parte de estudiantes y comunidades interesadas en el desarrollo sostenible.

Por todas estas razones, esta propuesta no solo responde a una problemática ambiental concreta, sino que además fomenta el uso responsable de los recursos naturales, la

concientización ecológica y la generación de conocimiento útil y replicable en distintos contextos sociales.

7. Fundamento Teórico

Desde hace décadas, el uso extensivo de insecticidas químicos ha sido la respuesta tradicional frente a las plagas en cultivos y jardines. Sin embargo, en la actualidad se ha vuelto necesario analizar con mayor profundidad las consecuencias de este enfoque, ya que ha traído consigo efectos negativos tanto para el ambiente como para la salud humana y la biodiversidad. Uno de los aspectos más afectados ha sido el ecosistema del suelo.

El impacto de los insecticidas químicos en el suelo y los microorganismos beneficiosos ha sido ampliamente documentado. Estos productos no solo eliminan plagas, sino que también alteran la microbiota natural del suelo, afectando organismos esenciales como bacterias nitrificantes y hongos micorrízicos, fundamentales para la absorción de nutrientes por las plantas (González et al., 2020). En consecuencia, se reduce la fertilidad del suelo, disminuye la actividad enzimática y se altera el ciclo natural de los nutrientes. Esto se ha observado especialmente en países de Centroamérica, donde se ha reportado una caída en la diversidad microbiana en cultivos tratados intensamente con agroquímicos (Torres & Araya, 2019), afectando la capacidad regenerativa del suelo.

A esta problemática se suma que, en el caso de República Dominicana, ya se ha evidenciado la acumulación de residuos de pesticidas en suelos de zonas agrícolas clave como el Cibao, lo que favorece la salinización, compactación y erosión del terreno (Agencia de Cooperación Alemana, 2020). Esto genera un círculo vicioso: los suelos pierden calidad, se hacen más dependientes de productos externos, y aumenta la vulnerabilidad de los cultivos.

En línea con este deterioro ambiental, también es importante considerar **el efecto de los insecticidas en especies benéficas como las abejas**. Estos insectos son responsables de

la polinización de más del 75 % de los cultivos alimentarios, pero el uso de sustancias neurotóxicas como los neonicotinoides ha provocado una grave disminución de sus poblaciones. En investigaciones llevadas a cabo en zonas cafetaleras de Centroamérica y en apiarios dominicanos, se ha confirmado que la exposición constante a plaguicidas reduce drásticamente la cantidad de colmenas activas y compromete la función polinizadora (Martínez & Pérez, 2020).

Más preocupante aún es que incluso en dosis pequeñas, estos productos pueden afectar el comportamiento de las abejas, alterando su capacidad de orientación, recolección y comunicación dentro de la colmena (Sierra & Rodríguez, 2018). La consecuencia es una pérdida silenciosa pero progresiva de biodiversidad y productividad agrícola, ya que sin abejas muchos cultivos no se desarrollan correctamente.

Por otro lado, es imposible ignorar **el impacto que los insecticidas químicos tienen sobre la calidad de los productos agrícolas** que consumimos. En muchos casos, los residuos de estas sustancias permanecen en frutas y hortalizas, comprometiendo la inocuidad alimentaria. Un informe de USAID reveló que en 2007 República Dominicana se encontraba entre los países con mayor número de rechazos de exportaciones agrícolas debido a residuos tóxicos (USAID, 2007, citado en Diario Libre, 2021). Este hecho pone en evidencia no solo un problema de salud pública, sino también un obstáculo económico para los productores nacionales.

Además, el consumo prolongado de estos residuos se ha vinculado con problemas respiratorios, alteraciones endocrinas e incluso procesos cancerígenos en seres humanos (García & Mejía, 2019). Esto refuerza la urgencia de encontrar alternativas que protejan los cultivos sin comprometer la salud de las personas.

Es en este contexto donde adquiere relevancia **el uso de insecticidas orgánicos como alternativa viable**. Particularmente, el uso de extractos cítricos, como los que contienen d-limoneno, se ha mostrado prometedor por su capacidad de eliminar insectos como moscas blancas, cochinillas y ácaros, sin generar toxicidad en el ambiente (Fernández & Mora, 2020). Este compuesto natural, extraído de cáscaras de cítricos como la naranja, actúa como repelente y agente deshidratante de los insectos, y se degrada rápidamente en contacto con el aire y la luz, lo que reduce su persistencia en el ambiente.

Complementando esta formulación, el **jabón potásico** ha sido incluido como un agente coadyuvante que permite disolver la cutícula cerosa de los insectos, facilitando la acción del d-limoneno. Este tipo de jabón, de origen vegetal, es biodegradable y no deja residuos en los cultivos, por lo que es compatible con prácticas agroecológicas (Hernández & Cedeño, 2022). En ensayos realizados en huertos urbanos y parcelas educativas en San Cristóbal, se ha evidenciado que esta combinación permite controlar eficazmente plagas sin alterar la estructura del suelo ni dañar a insectos benéficos como las mariquitas o abejas (Laboratorio de Suelos del Instituto Agrario Dominicano, 2021).

En resumen, el uso de insecticidas orgánicos elaborados a partir de cítricos representa una respuesta concreta a la necesidad de disminuir la dependencia de productos químicos tóxicos. Estas formulaciones no solo ofrecen una alternativa efectiva para el control de plagas, sino que también respetan la biodiversidad del suelo, protegen a los polinizadores, y mejoran la calidad de los productos agrícolas. Además, se alinean con los principios de producción sostenible que actualmente promueven tanto el Ministerio de Agricultura de la República Dominicana como organismos internacionales vinculados a la seguridad alimentaria.

Sumergiéndonos en otro nivel de análisis, la contaminación ambiental por el uso excesivo de insecticidas químicos se ha convertido en una problemática que afecta directamente la salud de árboles, plantas, el suelo, el agua y el aire. Estos productos, al dispersarse sin control, se acumulan en diferentes capas del ecosistema, provocando daños tanto a organismos vivos como a los recursos naturales. Por ello, surge la necesidad de desarrollar alternativas más seguras y sostenibles, como lo es el uso de insecticidas orgánicos.

Desde el enfoque *físico*, se puede analizar cómo los insecticidas se comportan en el ambiente aplicando principios de la **mecánica de fluidos**, la **dispersión de partículas**, la **sedimentación** y el **movimiento en medios gaseosos y líquidos**. Estos conceptos permiten estudiar cómo los insecticidas —tanto químicos como orgánicos— se distribuyen en el aire, el agua y el suelo, lo que a su vez nos permite evaluar su **nivel de toxicidad, movilidad, tiempo de permanencia y alcance**. Este análisis es esencial para entender los posibles daños colaterales que puede causar un insecticida en los árboles, plantas no objetivo y el ecosistema en general.

Principios Físicos Aplicados y Fórmulas

Desde el punto de vista de la **dinámica y la mecánica clásica**, uno de los pilares fundamentales para este análisis es la **Segunda Ley de Newton**, formulada por **Isaac Newton** en el año **1687** en su obra *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. Esta ley establece que la aceleración de un objeto es directamente proporcional a la fuerza neta que actúa sobre él e inversamente proporcional a su masa (Wilson, Bufa & Lou, 2007):

$$F = m \cdot a \quad \Rightarrow \quad a = \frac{F}{m}$$

Este principio es útil en el proyecto para modelar cómo se mueven las partículas del insecticida al ser expulsadas al ambiente (como en el caso de los aerosoles), o cómo la gravedad y otras fuerzas externas influyen en su caída y permanencia en distintas superficies. También se puede usar para calcular la **aceleración mínima** que requiere un objeto (como una gota de insecticida) para desplazarse en presencia de viento o fricción (Wilson, Bufa & Lou, 2007).

I . Ley de Stokes – Velocidad de sedimentación de partículas:

Otra ley importante es la **Ley de Stokes**, propuesta por el físico **George Gabriel Stokes** en **1851**, la cual se aplica a la **velocidad de sedimentación** de una partícula en un fluido. Esta ley describe cómo una partícula cae en un fluido (aire o agua). Nos dice cuánto tiempo permanece el insecticida en el aire o el agua. Si tarda más en caer, es más tóxico porque sigue activo más tiempo (García & Rodríguez, 2013).

Fórmula:

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2(\rho_p - \rho_f)g}{\eta}$$

Donde:

- v = velocidad de sedimentación
- r = radio de la partícula
- ρ_p = densidad de la partícula
- ρ_f = densidad del fluido
- g = gravedad (9.8 m/s²)
- η = viscosidad del fluido

Como se mencionó anteriormente, esta fórmula es esencial para calcular cuánto tiempo una partícula del insecticida permanecerá suspendida en el aire o flotando en el agua. Si las partículas del insecticida químico se sedimentan lentamente, eso significa que permanecen más tiempo en el ambiente, aumentando la probabilidad de causar daño a otras especies y contaminando áreas que no deberían ser afectadas.

II . Transporte y dispersión por viento (simulación de dinámica de fluidos):

Los aerosoles o gotículas del insecticida se comportan como partículas suspendidas que se desplazan por el viento. A mayor **velocidad del viento**, mayor es la **distancia de dispersión** (Herrera Prat et al., 2012). Esto permite visualizar cómo un insecticida puede afectar zonas no deseadas, y cómo uno orgánico puede controlarse mejor por tener una dispersión más limitada.

Relación básica (modelo simplificado)

Fórmula:

$$d = v \cdot t$$

Donde:

- d = distancia recorrida por el aerosol
- v = velocidad del viento
- t = tiempo de exposición

Por otro lado, los insecticidas orgánicos, al tener mayor densidad o menor volatilidad, tienden a sedimentarse más rápido y dispersarse menos, lo que permite un mayor control del área tratada y reduce el impacto ambiental (Herrera Prat et al., 2012). Esto demuestra que el

análisis físico ayuda a comprender cómo la composición influye directamente en el alcance y toxicidad de un producto.

¿Cómo esto ayuda a entender el impacto tóxico de los insecticidas químicos en árboles y plantas?

El análisis físico permite observar cómo los insecticidas químicos pueden ser más perjudiciales debido a su comportamiento dinámico en el ambiente. Por ejemplo:

- Se **dispersan más fácilmente** por acción del viento, lo que significa que pueden llegar a plantas no objetivo y contaminar zonas cercanas como jardines, cultivos orgánicos o fuentes de agua.
- Son **arrastrados por el agua de lluvia o el riego** hacia el suelo, afectando no solo a las raíces de las plantas, sino también a los microorganismos que viven en la tierra y que son esenciales para la salud del ecosistema.
- **Permanecen suspendidos en el aire** por más tiempo, lo que incrementa la exposición tóxica tanto para las plantas como para los animales e incluso los seres humanos.

Al aplicar estos mismos principios al insecticida orgánico que proponemos como alternativa, se podrá comparar experimentalmente su **nivel de dispersión, asentamiento y permanencia** en el ambiente. Si el insecticida natural se dispersa menos, cae más rápido al suelo sin viajar largas distancias o se adhiere mejor a la superficie objetivo, entonces se podrá concluir que representa un **riesgo ambiental mucho menor**, demostrando su **mayor compatibilidad ecológica y sostenibilidad**.

8. Materiales y Metodología

La presente investigación tiene un diseño **prospectivo, cuantitativo y experimental**. Se considera **prospectivo** porque los datos se recopilarán en el futuro a partir de la aplicación de los insecticidas y la observación de sus efectos en las plantas, sin analizar eventos pasados. Su enfoque es **cuantitativo**, ya que se basará en la recolección y análisis de datos medibles, como el pH del suelo, la presencia de plagas y las condiciones de las plantas, permitiendo obtener resultados objetivos y replicables. Asimismo, el estudio es **experimental**, dado que se manipularán variables (tipo de insecticida aplicado) en condiciones controladas, asignando los tratamientos de manera aleatoria para evaluar su impacto en las plantas y su entorno.

Para llevar a cabo la investigación, se realizará una **selección probabilística de la muestra**, conformada por plantas en distintas etapas de desarrollo: semillas en crecimiento prematuro, plantas jóvenes y plantas adultas con raíces establecidas. Esta selección aleatoria garantizará que los resultados sean representativos y permitan hacer comparaciones fiables entre los grupos estudiados.

El diseño experimental contempla **tres grupos de prueba**, cada uno sometido a un tratamiento diferente: el primer grupo recibirá únicamente agua y luz solar (grupo control), el segundo grupo será tratado con un insecticida químico convencional y el tercer grupo con un insecticida orgánico desarrollado en el estudio. La aplicación de los insecticidas se realizará bajo condiciones controladas, asegurando que las dosis sean equivalentes y evitando posibles factores externos que puedan alterar los resultados.

Para evaluar la **efectividad y el impacto ambiental** de los tratamientos, se analizarán diversos indicadores. Se medirá el **pH del suelo** antes y después de la aplicación de los insecticidas para identificar cambios en la acidez o alcalinidad. También se examinarán las

características de las hojas de las plantas (color, tamaño y forma), la presencia de insectos y posibles daños causados por plagas. Además, se investigará la dispersión de residuos en el aire, el agua y el suelo, con el fin de determinar el nivel de toxicidad generado por cada insecticida.

El estudio incluirá un **monitoreo continuo** durante varias semanas, registrando el estado de las plantas mediante observaciones sistemáticas y análisis fotográficos. Los datos recolectados serán procesados a través de herramientas estadísticas para determinar si el insecticida orgánico es una alternativa viable y ecológica en comparación con el insecticida químico convencional.

Finalmente, se tomarán medidas de **seguridad y control ambiental** para minimizar riesgos. Se empleará **Equipo de Protección Personal (EPP)**, como guantes biodegradables, gafas de seguridad y mascarillas, para proteger a los investigadores durante la aplicación de los insecticidas. Los residuos serán manejados de manera responsable, asegurando que los desechos líquidos sean diluidos o utilizados en compost y que los residuos sólidos sean reutilizados o eliminados de forma ecológica. Asimismo, la confidencialidad de los datos será resguardada mediante el uso de códigos en las muestras y el almacenamiento seguro de la información.

Esta metodología permite evaluar de forma rigurosa el desempeño del insecticida orgánico y su impacto ambiental, contribuyendo al desarrollo de estrategias más sostenibles en el manejo de plagas.

8.1. Composición del Insecticida Orgánico

Insecticida Orgánico de Cáscaras de Naranja

Nombre del insecticida : D-LimoSpray

El **d-limoneno**, principal componente activo de los aceites esenciales cítricos, es el protagonista en la formulación del insecticida casero de naranja. Este monoterpeno cíclico, presente en un **90-95%** en los aceites esenciales de cáscaras de cítricos, ha sido ampliamente estudiado por su efectividad contra diversas plagas agrícolas y urbanas. Actúa alterando el sistema nervioso de insectos como **pulgones, hormigas y moscas blancas**, provocando su eliminación de manera natural (Zuvamesa, 2023). A diferencia de los insecticidas sintéticos, el **d-limoneno** se degrada rápidamente en el ambiente, minimizando el riesgo de contaminación del suelo y el agua (Diario Oficial L 27/2023, 2023). Además, su baja toxicidad en humanos y animales, junto con la incorporación de emulsionantes naturales como jabón potásico y disolventes como agua, lo convierten en una alternativa segura y sostenible para su uso en parques urbanos y jardines comunitarios (Fumigación Universal, 2020).

Si bien algunos estudios han señalado que el d-limoneno puede afectar organismos acuáticos en altas concentraciones, este riesgo se minimiza con una aplicación controlada y en dosis adecuadas (Diario Oficial L 27/2023, 2023). Además, investigaciones recientes han explorado su compatibilidad con polinizadores y microorganismos beneficiosos, indicando que su impacto negativo puede mitigarse al aplicarlo en horarios estratégicos, como al atardecer, cuando las abejas han regresado a sus colmenas (Zuvamesa, 2023). A nivel del suelo, su rápida biodegradación evita alteraciones significativas en la microbiota, diferenciándolo de los insecticidas sintéticos, que pueden permanecer activos durante meses y afectar la fertilidad del suelo (Fumigación Universal, 2020).

Desde una perspectiva metodológica, este insecticida orgánico está formulado con una concentración optimizada de d-limoneno para garantizar su eficacia sin comprometer la biodiversidad. Su aplicación seguirá un protocolo detallado, asegurando un seguimiento

riguroso de sus efectos en las plantas y en su entorno inmediato. Estudios previos han demostrado que la combinación del d-limoneno con emulsionantes naturales mejora su estabilidad y adherencia en las hojas, incrementando su efectividad (Zuvamesa, 2023). Además, el almacenamiento en frascos oscuros preservará sus propiedades activas por más tiempo, garantizando su funcionalidad sin necesidad de estabilizadores químicos adicionales (Fumigación Universal, 2020).

8.2. Composición del jabón potásico

El jabón potásico no es considerado dañino para la salud ni para el medio ambiente cuando se usa adecuadamente, ya que es biodegradable y tiene un bajo nivel de toxicidad. Se utiliza principalmente como insecticida natural, detergente suave y limpiador ecológico (Brouhon, 2025).

El jabón potásico se elabora mediante la saponificación de grasas o aceites naturales (como aceite de oliva, coco o girasol) con **hidróxido de potasio (KOH)**. A diferencia del jabón sódico (que utiliza hidróxido de sodio), el uso del potasio le otorga una textura más blanda o líquida (Brouhon, 2025).

Principales componentes:

1. **Grasas o aceites vegetales** (ácidos grasos):

- Aceite de oliva
- Aceite de coco
- Aceite de girasol

2. **Hidróxido de potasio (KOH):**

- Sustancia alcalina que permite la saponificación (reacción química entre el aceite y la base).

3. **Agua:** Utilizada en el proceso de disolución y mezclado.

8.3. Bloque Físico: Evaluación de la dispersión y toxicidad ambiental de insecticidas

Esta sección del experimento está diseñada para observar cómo se comportan distintos tipos de insecticidas al ser aplicados sobre espacios verdes, simulando condiciones ambientales reales como viento y lluvia. El objetivo es observar la forma en que estos productos —ya sean simulados, orgánicos o químicos— se trasladan por el aire, el agua o el suelo, y cómo eso puede afectar su permanencia y toxicidad en zonas verdes urbanas o cultivos. Este análisis permitirá comparar su impacto desde una perspectiva física.

Se realizarán tres pruebas: **la primera** con un simulador hecho con agua y colorante vegetal; **la segunda** con el insecticida orgánico creado por el equipo; y **la tercera** con un insecticida químico comercial. Para todas las pruebas se utilizará un *ventilador* para simular el viento, una *regadera* perforada para representar la lluvia, y *bandejas plásticas* que permitirán observar la dispersión y escurrimiento de los líquidos. También se colocarán *plantas reales* para analizar el contacto con las hojas.

Durante cada prueba, se medirá la **distancia alcanzada** por el líquido al ser rociado, el **tiempo que tarda en sedimentarse** y cómo se **acumula o se dispersa** en la superficie. Se usarán herramientas como *cinta métrica*, *cronómetro* y *pulverizador manual*. Las condiciones serán iguales en las tres pruebas para que los resultados sean comparables entre sí.

Con esta metodología podremos observar si el insecticida orgánico tiene un comportamiento más controlado y menos persistente en el ambiente que el químico. Esta comparación visual y práctica nos ayudará a entender el impacto tóxico de los insecticidas tradicionales en árboles y plantas, y si es viable el uso de alternativas más sostenibles.

9. Parte Experimental

9.1. Preparación del Insecticida Orgánico

9.1.1. Materiales:

- 10 cáscaras de naranja (pueden ser frescas o secas)
- 1 litro de agua
- 1 olla de acero inoxidable
- 1 colador de malla fina o tela filtrante
- 1 frasco o botella de vidrio con tapa
- 1 atomizador (spray)
- 1 embudo
- 1 cucharada de jabón potásico o neutro rallado (mejora la adherencia)

9.1.2. Vestimenta y Medidas de Seguridad:

- Guantes de látex o nitrilo (para evitar contacto con residuos cítricos, que pueden irritar la piel)
- Gafas de protección (evita contacto con los ojos)
- Mascarilla (si tienes alergias a aceites esenciales)
- Delantal de laboratorio o de cocina (para evitar manchas en la ropa)

9.1.3. Procedimiento

I. Paso 1: Preparación de las Cáscaras

- A. Lava bien las cáscaras de naranja para eliminar residuos de pesticidas o suciedad.

- B. Corta las cáscaras en trozos pequeños para facilitar la extracción del aceite esencial.

II. Paso 2: Extracción del d-Limoneno

- A. Coloca las cáscaras en la olla y agrega **1 litro de agua**.
- B. Lleva a ebullición a fuego medio y deja hervir por **10 minutos** para extraer el aceite de las cáscaras.
- C. Apaga el fuego y deja reposar hasta que la mezcla esté a temperatura ambiente (**aprox. 1 hora**).

III. Paso 3: Filtrado y Almacenamiento

- A. Filtra la mezcla con un colador de malla fina o tela filtrante para eliminar residuos de cáscara.
- B. Vierte el líquido en un frasco de vidrio y guárdalo en un lugar fresco y oscuro.

IV. Paso 4: Preparación del Insecticida

- A. Para aplicar, mezcla **1 parte del concentrado con 2 partes de agua** en un atomizador.
- B. Agrega **1 cucharada de jabón potásico** para mejorar la adherencia a las hojas.

V. Paso 5: Aplicación en las Plantas

- A. Aplica el insecticida directamente sobre las hojas, tallos y zonas afectadas por insectos.
- B. Rocía preferiblemente **en la mañana o al atardecer** para evitar que el sol queme las hojas.
- C. Repite la aplicación **cada 3-5 días** hasta que la plaga desaparezca.

9.1.4. Consideraciones Finales:

- No usar en exceso para evitar alterar el pH del suelo; parte detallada en *Medidas de Seguridad Durante la Preparación y Aplicación* (se utilizarán de 5 - 10 ml por planta)
- Almacenar el insecticida en un frasco oscuro para conservar sus propiedades.
- Evitar contacto con ojos y mucosas.

9.2. Procedimiento Experimental

Objetivo del Experimento: Desarrollar un insecticida orgánico para el control de plagas y comparar su efectividad e impacto ambiental con los insecticidas químicos. Se evaluará la toxicidad de ambos tipos de insecticidas en el aire, agua y suelo.

Hipótesis: *Un insecticida orgánico desarrollado para el control de plagas tiene un menor impacto ambiental (aire, agua y suelo) en comparación con los insecticidas químicos convencionales, mientras sigue siendo efectivo en la protección de las plantas.*

9.2.1. Diseño Experimental

Se utilizarán **tres grupos de plantas** en diferentes etapas de crecimiento:

1. **Plantas en germinación (semillas en crecimiento prematuro)**
2. **Plantas jóvenes (bebés o nuevas con poco desarrollo radicular)**
3. **Plantas adultas (con raíces establecidas en el suelo)**

Cada grupo tendrá **tres subgrupos de tratamiento**, distribuidos de la siguiente manera:

- **Grupo de control (GC):** Solo expuesto a agua y luz solar.
- **Grupo con insecticida químico (GQ):** Recibirá un insecticida comercial convencional.

- **Grupo con insecticida orgánico (GO):** Recibirá el insecticida desarrollado en la investigación.

Se replicarán tres muestras por cada subgrupo, asegurando un total de 27 plantas (3 tipos × 3 tratamientos × 3 réplicas).

9.2.2. Procedimiento Experimental Detallado

I. Selección y preparación de las plantas

- A. Se elegirán plantas ornamentales comunes en parques urbanos.
- B. Se plantarán semillas en un sustrato homogéneo, garantizando condiciones similares para cada muestra.
- C. Se emplearán plantas jóvenes y adultas ya establecidas para evaluar el efecto de los insecticidas en diferentes etapas de desarrollo.

II. Aplicación de los tratamientos

- A. **Grupo control (GC):** Solo se regará con agua y se expondrá a luz natural.
- B. **Grupo químico (GQ):** Se aplicará el insecticida químico siguiendo las indicaciones del fabricante.
- C. **Grupo orgánico (GO):** Se aplicará el insecticida orgánico formulado en el estudio con una dosis y periodicidad estandarizada.

III. Monitoreo y Evaluación

- A. **Aparición de plagas:** Se registrará la cantidad y tipo de insectos en las hojas y tallos mediante observación directa.
- B. **Condición de las hojas:** Se analizarán signos de daño (decoloración, marchitamiento, necrosis).
- C. **pH del suelo:** Se medirá antes y después de la aplicación de los insecticidas para evaluar su impacto en la acidez del suelo.

D. **Presencia de residuos en el agua:** Se recogerán muestras del agua drenada para detectar residuos químicos.

E. **Efectividad del insecticida:** Se comparará la reducción de plagas en cada grupo.

9.2.3. Escalas de Evaluación y Validación de Datos

Se establecerán criterios de medición para garantizar la validez y confiabilidad de los datos:

1. **Escala de daño en hojas** (adaptada de estudios previos sobre fitotoxicidad):

- 0: Sin daño visible
- 1: Ligero amarillamiento o puntos pequeños
- 2: Decoloración significativa, hojas con daños visibles
- 3: Necrosis parcial
- 4: Marchitamiento total

2. **Escala de presencia de plagas** (adaptada de métodos de control biológico):

- 0: Sin insectos visibles
- 1: Menos de 5 insectos por hoja
- 2: Entre 5-10 insectos por hoja
- 3: Más de 10 insectos por hoja
- 4: Infestación severa

3. **Validación del pH del suelo:**

- Se utilizará un pH-metro calibrado y papel de pH antes de la toma de muestras.
- Se compararán los valores iniciales y finales para determinar variaciones.

9.2.4. Establecimiento de Validez y Confiabilidad

- **Validez de contenido:** Se basa en la literatura científica sobre fitotoxicidad e impacto ambiental de insecticidas.
- **Confiabilidad del experimento:** Se realizarán pruebas en **múltiples réplicas (3 por cada subgrupo)** para asegurar consistencia en los resultados.
- **Revisión por expertos:** Se consultará con especialistas en botánica y toxicología ambiental para evaluar la metodología y mejorar la precisión de los instrumentos de medición.

9.3. Protocolo de Seguridad (*aplicación válida para ambos insecticidas*)

9.3.1. Equipamiento de Protección Personal (EPP)

Se usará como vestimenta:

- Guantes de látex , para pieles sensibles o manipular grandes cantidades.
- Gafas de seguridad, en caso de que haya viento o riesgo de salpicaduras.
- Mascarillas N-95, en caso de que haya sensibilidad a los olores fuertes de los cítricos.
- Ropa cómoda de manga larga y pantalón largo (scrubs) para una mayor protección ante posibles salpicaduras.

9.3.2. Medidas de Seguridad Durante la Preparación y Aplicación

- Se preparará en un área al aire libre para evitar acumulación de vapores cítricos.
- El experimento se llevará a cabo en un espacio delimitado dentro de un jardín residencial previamente acondicionado, localizado en el domicilio del investigador. Este entorno ha sido cuidadosamente preparado para asegurar condiciones controladas, con suelos libres de contaminantes y sin antecedentes recientes de

aplicación de productos químicos (pesticidas, fertilizantes o herbicidas), lo que garantiza un medio experimental virgen de residuos químicos y apto para el desarrollo del estudio.

- Se usará una olla de acero inoxidable para hervir las cáscaras, evitando recipientes de aluminio que pueden de tal forma reaccionar con los cítricos.
- Se evitará el contacto con ojos y mucosas, no se podrá tocar la cara al manipular el insecticida.
- Este se aplicará en las mañana (5:00 a.m.) o al atardecer para evitar que el sol y el insecticida dañen las plantas.
- La cantidad que se aplicará por planta será de 5 - 10 ml; determinado por el tamaño y necesidad que requiera la planta (*para ambos insecticidas*)
- Se evitará aplicar en exceso cerca de mascotas o zonas donde los niños jueguen.

9.3.3. Procedimiento de almacenamiento del Insecticida

- Se guardará en un frasco hermético y etiquetado con la fecha de preparación.
- Se mantendrá en un lugar fresco y oscuro para conservar así su efectividad.
- Se usará en un máximo de 5 días, ya que este luego pierde potencia y puede descomponerse.

9.3.4. La gestión de desechos en el entorno doméstico

- Los desechos líquidos, como los sobrantes de insecticida, deben diluirse en abundante agua para reducir su toxicidad y efectos nocivos. Esto asegura su inutilización y minimiza el riesgo ambiental en el entorno doméstico.
- No se tirará en el fregadero o desagües, ya que puede ser tóxico para organismos acuáticos.

- En cambio se aplicará en compost o tierra seca, de forma que este ayuda a repeler insectos en la zona (*solo aplicado para el orgánico y sus desechos*).

Desechos Sólidos (Cáscaras y Envases)

- Las cáscaras hervidas se compostaran o se enterraran en el jardín como abono natural.
- Las botellas o frascos se van a enjuagar y se guardarán para uso futuro.
- Los guantes usados serán biodegradables, de forma que se pueden desechar en residuos orgánicos.

9.3.5. En Caso de Contacto Accidental

Si hay contacto con la piel, se lavará con agua y jabón si hay irritación. En caso de que haya contacto con los ojos, se va a enjuagar con agua limpia durante 15 minutos. Y en caso de que haya una ingestión accidental, se deberá beber agua y buscar asistencia médica si hay molestias.

9.4. Evaluación experimental del comportamiento físico de insecticidas

9.4.1. Materiales:

- Ventilador (para simular el viento)
- Pulverizador (spray manual)
- Recipientes transparentes o bandejas (para simular suelo o zonas verdes)
- Agua con colorante vegetal (simulador del insecticida)
- Insecticida orgánico (de elaboración propia)
- Insecticida químico comercial
- Regadera (para simular la lluvia)

- Cinta métrica y cronómetro
- Plantas (para simulación visual)

9.4.2. Pruebas de dispersión y toxicidad en condiciones físicas controladas

Prueba 1: Simulación de insecticida con agua y colorante

- Se usará agua teñida para simular un insecticida y analizar **su dispersión** al ser rociado con viento (ventilador) y expuesto a una "lluvia" artificial.
- Se medirá cuánto líquido alcanza las zonas laterales y cuánto se acumula en el suelo.
- Esta prueba ayudará a modelar el comportamiento físico sin toxicidad.

Prueba 2: Insecticida orgánico

- Se aplicará el insecticida orgánico desarrollado por el equipo bajo las mismas condiciones.
- Se observará la dispersión, el arrastre por el agua y la permanencia en las hojas y el suelo.
- Se espera una **dispersión más limitada** y una menor movilidad ambiental.

Prueba 3: Insecticida químico

- Se aplicará un insecticida químico comercial, replicando las condiciones anteriores.
- Se espera observar **una mayor dispersión lateral**, acumulación en el suelo y mayor afectación de zonas no deseadas.

Observaciones:

En cada prueba se documentará:

- Distancia de dispersión horizontal (con cinta métrica)
- Nivel de escurrimiento hacia el suelo
- Tiempo de permanencia visible en el ambiente
- Posibles efectos en las plantas (si se usan reales)

10. Resultados

10.1. Comportamiento de las plantas frente a los diferentes tratamientos

La presente investigación permitió evaluar la efectividad de un insecticida orgánico formulado a base de cáscaras de naranja (*D-LimoSpray*), comparándolo con un insecticida químico convencional y con un grupo control sin tratamiento. Los resultados obtenidos están alineados con el **objetivo general** del estudio, que consistía en **desarrollar un insecticida orgánico para el control de plagas y comparar su efectividad e impacto ambiental** con alternativas químicas. Asimismo, se evaluó su toxicidad en aire, agua y suelo, tal como fue establecido. Cada resultado se interpreta a la luz de los **objetivos específicos**, desde el análisis de eficacia hasta el impacto en el ecosistema inmediato.

10.1.1. Grupo con Insecticida Orgánico (GO)

Durante los primeros días de tratamiento, las plantas tratadas con el insecticida orgánico presentaban signos leves de infestación por mosca blanca, plaga que había estado presente de forma previa al inicio del experimento. Sin embargo, a partir del **día 3 de aplicación**, no se volvió a observar presencia de insectos en las hojas ni en los tallos, lo que evidenció una acción efectiva y sostenida del producto orgánico, cumpliendo satisfactoriamente con el objetivo de comparar la eficacia del producto orgánico frente al químico, y confirmando su potencial para el control efectivo de plagas en distintas etapas de crecimiento vegetal. Esta ausencia de plagas se mantuvo de forma estable hasta el término de la segunda semana, sin necesidad de aumentar la dosis ni la frecuencia de aplicación.

Adicionalmente, se registró la **presencia continua de abejas y colibríes** en las plantas tratadas con el insecticida orgánico. Estos organismos, atraídos por flores y frutos, se mantuvieron activos en la zona tratada, lo que sugiere una **compatibilidad ecológica del producto con polinizadores**, en consonancia con el *objetivo de proponer una alternativa sostenible* que no afecte a los polinizadores; en contraste con lo que se observa comúnmente con productos químicos de amplio espectro. Esta armonía entre el tratamiento y los organismos auxiliares valida la *hipótesis* de un *impacto ambiental reducido*, y refuerza la viabilidad del uso del insecticida orgánico en entornos abiertos como jardines comunitarios y parques urbanos. Esta coexistencia armoniosa entre el insecticida y la biodiversidad es un indicador positivo en términos de sostenibilidad ambiental.

En cuanto a la **condición fisiológica de las plantas**, no se identificaron daños significativos en el follaje. Las hojas se mantuvieron verdes, turgentes y con buena morfología, salvo en un único caso, correspondiente a una planta adulta que presentó una **leve quemadura** localizada, posiblemente atribuida a una concentración accidental del producto o a una acumulación excesiva en una zona poco ventilada. Esta incidencia fue aislada y no representó una tendencia general. Esta observación no contradice el cumplimiento del *objetivo de garantizar seguridad en su aplicación*, pues no se replicó en el resto de las muestras.

Respecto al **pH del suelo**, se partió de un valor inicial **neutro (7.0)**, considerado óptimo para la mayoría de las especies vegetales. El insecticida orgánico tenía un pH ácido, estimado entre **4 y 5**, lo que en principio generó preocupación sobre una posible acidificación del suelo. Sin embargo, los resultados indicaron que el producto fue **biológicamente bien**

asimilado por las plantas. Al término de las dos semanas de tratamiento, el pH del suelo se mantuvo entre **6.0 y 7.0**, lo que indica que el suelo **compensó y reguló naturalmente la acidez del producto** sin requerir neutralización artificial. Este comportamiento sugiere que el insecticida orgánico no solo fue compatible con el entorno edáfico, sino que también permitió que las plantas **absorbieran solo los compuestos necesarios para su defensa**, sin alterar negativamente la microbiota ni la estructura química del sustrato. Marcando nuevamente que esto demuestra una **asimilación biológica adecuada**, apoyando el *objetivo de analizar la toxicidad del producto a través del comportamiento del pH del suelo.*

Durante las primeras aplicaciones, se observó la **presencia de residuos de jabón potásico** adheridos a la parte inferior de algunas hojas. Estos residuos eran visibles por la mañana siguiente a las aplicaciones nocturnas. No obstante, al realizar un riego regular, estos restos desaparecían por completo y no causaban ningún daño estructural. El jabón potásico, más que un residuo tóxico, funcionó como un **emulsionante y adherente natural**, favoreciendo la retención del insecticida sobre la superficie foliar. Este comportamiento valida el *objetivo de formular un insecticida con componentes naturales y estables*, capaces de mantenerse funcionales sin afectar negativamente a la planta ni al medio.

En síntesis, el grupo tratado con *D-LimoSpray* mostró un **control total de plagas, bajo impacto ambiental, ausencia de toxicidad para organismos beneficiosos, estabilidad fisiológica en las plantas** y un comportamiento del pH compatible con un cultivo saludable. Según los resultados detallados anteriormente, este grupo demostró que el insecticida orgánico no solo **cumple su función de protección vegetal**, sino que además ofrece **una solución ecológica viable** frente a productos convencionales. Esto refuerza tanto

la *hipótesis* como los objetivos, especialmente los relacionados con la reducción del impacto ambiental y el desarrollo de productos sostenibles.

10.1.2. Grupo con Insecticida Químico (GQ)

El grupo tratado con insecticida químico presentó una **reducción parcial de plagas**, aunque sin alcanzar un control completo. La presencia de mosca blanca persistió durante toda la duración del experimento, con variaciones leves entre los días, lo que evidenció una **eficacia limitada del producto químico** en condiciones reales; lo que no cumple plenamente con el objetivo de comparar la eficacia del insecticida orgánico con un insecticida químico convencional, evaluando su capacidad para controlar plagas en diferentes etapas de crecimiento de las plantas.

Además, se percibió un **olor fuerte y desagradable** desde el momento de la aplicación, persistente incluso después del secado del producto. A pesar de que el fabricante afirmaba que se trataba de un insecticida “similar al orgánico”, tanto su olor como su comportamiento ambiental contradijeron dicha afirmación. Esta característica afecta negativamente la calidad ambiental y contradice el objetivo de identificar los efectos negativos de los insecticidas químicos en el medio ambiente (aire, agua y suelo).

A partir del **quinto día de uso**, se observaron **manchas blancas y residuos adheridos a las hojas**, los cuales **no se eliminaron mediante riego**. Estas manchas permanecieron visibles hasta el final del experimento, afectando la apariencia y posiblemente la fotosíntesis de las plantas. También se registraron signos evidentes de **fitotoxicidad**, incluyendo **amarillamiento de las hojas y la aparición de puntos negros**, especialmente en plantas jóvenes y adultas, síntomas típicos de daño celular inducido por compuestos

sintéticos. Dicho esto, no cumple con el objetivo de observar los efectos del insecticida orgánico en la salud y desarrollo de las plantas, considerando indicadores como el color, tamaño y vitalidad de las hojas, así como la presencia o ausencia de plagas.

En cuanto al **pH del suelo**, se partió de un valor neutro (7.0), pero al final del experimento, se registraron valores entre **5.0 y 6.0**, lo cual indica una **acidificación moderada del sustrato**. Esta alteración puede comprometer el equilibrio microbiano del suelo y afectar la disponibilidad de nutrientes para las raíces a largo plazo; y se relaciona directamente con el objetivo de analizar el impacto ambiental de los insecticidas aplicados mediante la medición de cambios en el pH del suelo, la toxicidad en el agua y la dispersión de residuos en el aire. Además, en este grupo **no se observó presencia de abejas ni colibríes**, lo que sugiere un **impacto negativo sobre la fauna auxiliar**, fundamental para el equilibrio ecológico y la polinización natural.

10.1.3. Grupo de Control (GC)

El grupo control, que fue tratado únicamente con agua y expuesto a luz natural, **no presentó mejoras en el control de plagas**. Por el contrario, se observó una **alta incidencia de insectos**, especialmente mosca blanca y orugas, cuya presencia fue diaria y evidente en el reverso de las hojas y en los brotes tiernos. Las plantas presentaban **hojas mordidas y en algunos casos perforadas**, con pérdida visible de masa foliar; lo que se relaciona con el objetivo de comparar la eficacia del insecticida orgánico con un insecticida químico convencional, evaluando su capacidad para controlar plagas en diferentes etapas de crecimiento de las plantas.

Durante las observaciones matutinas, se pudo identificar al menos un nuevo insecto por planta en la mayoría de los casos, lo que refleja la **vulnerabilidad de las plantas sin protección**. En cuanto al **pH del suelo**, se mantuvo **constante en 7.0** a lo largo del experimento, sin alteraciones químicas, lo que era esperado dada la ausencia de agentes externos; esto va en concordancia con el objetivo de analizar el impacto ambiental de los insecticidas aplicados mediante la medición de cambios en el pH del suelo, la toxicidad en el agua y la dispersión de residuos en el aire.

Tampoco se registró la presencia de polinizadores como abejas o colibríes, lo que puede atribuirse tanto a la infestación por plagas como a la falta de estímulos florales sanos. Si bien las plantas no sufrieron efectos por residuos o fitotoxicidad, su estado general se deterioró progresivamente por **estrés biótico**, producto de la actividad de los insectos. Y coincide con el objetivo de evaluar los efectos de los insecticidas en el medio ambiente y cómo los procesos físicos en los espacios verdes urbanos contribuyen a la reducción de su toxicidad en aire, agua y suelo.

10.2. Resultados del Bloque Físico: Evaluación de la Toxicidad Ambiental

Con base en los principios físicos previamente expuestos particularmente la Ley de Stokes y la dinámica de fluidos aplicada al transporte por viento, se realizó una evaluación comparativa del comportamiento físico de tres tratamientos: una simulación con agua y colorante, un insecticida químico y el insecticida orgánico desarrollado. A continuación se presentan los resultados obtenidos y su interpretación física.

10.2.1. Simulación con agua y colorante (prueba control)

Este tratamiento mostró una dispersión en forma de **nebulización fina (niebla o rocío)**, alcanzando una distancia de **8.8 pies**. El tiempo registrado para la sedimentación completa fue de **21 minutos**, evidenciando una suspensión prolongada en el aire. Esto es coherente con partículas de **pequeño tamaño y baja densidad**, que presentan una **menor velocidad de caída** según la Ley de Stokes. Este patrón ilustra un alto riesgo de deriva en condiciones ambientales reales, como viento o lluvias ligeras.

10.2.2. Insecticida químico

El patrón observado fue de **chorro dirigido (spray en línea)**, con una dispersión más focalizada pero con una **distancia mayor de 16 pies**. La sedimentación ocurrió tras **18 minutos**, lo cual sigue indicando una prolongada suspensión de partículas en el ambiente. Aunque este tipo de dispersión permite llegar a zonas más lejanas, también **incrementa la probabilidad de afectar áreas no deseadas**. Además, se observó que el producto se secó rápidamente pero dejó **residuos blancos visibles en las hojas**, lo que evidencia **una baja absorción y una alta persistencia física en las superficies tratadas**.

10.2.3. Insecticida orgánico

Este tratamiento se dispersó en forma de **cono lleno con ángulo ancho**, también alcanzando una distancia de **16 pies**, pero con un tiempo de sedimentación ligeramente menor, de **16 minutos**. Este comportamiento sugiere que sus partículas, aunque bien dispersas, **tienen mayor masa o menor volatilidad**, lo que permite una **sedimentación más rápida** y, por tanto, menor tiempo de permanencia en el aire. Adicionalmente, el insecticida orgánico **no dejó residuos significativos en las hojas y redujo visiblemente las manchas blancas**, lo que indica una mayor **biodegradabilidad y compatibilidad ecológica**.

Los resultados evidencian que el insecticida orgánico presenta un comportamiento más controlado y ecológicamente favorable en comparación con el químico. Su menor tiempo de suspensión, buena cobertura y rápida degradación en las superficies reducen significativamente el riesgo de contaminación ambiental. En contraste, el insecticida químico mostró mayor dispersión lateral, persistencia en el ambiente y residuos visibles, lo que refuerza su carácter más agresivo y menos sostenible. Contribuyendo al objetivo de evaluar los efectos de los insecticidas en el medio ambiente y cómo los procesos físicos en los espacios verdes urbanos contribuyen a la reducción de su toxicidad en aire, agua y suelo.

11. Análisis de Resultados

11.1. Análisis del comportamiento de las plantas frente a los diferentes tratamientos

Tabla 1. Distribución de Grupos Experimentales

Esta tabla muestra la distribución organizada de las 27 plantas utilizadas en el experimento, clasificadas por etapa de desarrollo (germinación, planta joven y planta adulta) y por tipo de tratamiento aplicado: Grupo de Control (GC), Grupo Químico (GQ) e Grupo Orgánico (GO). Cada celda indica los números asignados a las plantas correspondientes, permitiendo un seguimiento ordenado y riguroso de cada muestra durante las dos semanas del estudio.

Leyenda de los datos: Las plantas se agrupan según tres etapas de crecimiento: *germinación* (semillas en desarrollo inicial), *planta joven* (con raíces en formación), y *planta adulta* (con raíces ya establecidas en el sustrato). A cada etapa se le aplicaron tres tratamientos distintos: el **Grupo de Control (GC)**, que recibió únicamente agua y luz solar; el **Grupo Químico (GQ)**, tratado con un insecticida químico comercial; y el **Grupo Orgánico (GO)**, que recibió el insecticida natural formulado con cáscaras de naranja (D-LimoSpray).

Etapa de la Planta	Grupo de Control (GC)	Grupo Químico (GQ)	Grupo Orgánico (GO)
Germinación	Planta 1, 2, 3	Planta 4, 5, 6	Planta 7, 8, 9
Planta joven	Planta 10, 11, 12	Planta 13, 14, 15	Planta 16, 17, 18
Planta adulta	Planta 19, 20, 21	Planta 22, 23, 24	Planta 25, 26, 27

La tabla reflejaba un diseño experimental **completamente equilibrado**, con 3 réplicas por cada combinación de etapa de planta y tratamiento. Esto garantizaba que los datos

obtenidos pudieran compararse de manera válida entre grupos, controlando las variables de crecimiento y edad de la planta. Además, permitía observar cómo reaccionaba cada tipo de planta al insecticida aplicado, según su nivel de madurez y sensibilidad fisiológica.

Desde una perspectiva metodológica, esta organización respaldó la confiabilidad de los resultados, ya que **minimizaba el sesgo y permitió un análisis comparativo entre tratamientos y entre etapas del desarrollo vegetal**. Por ejemplo, fue posible evaluar si el insecticida orgánico resultó más efectivo en plantas adultas que en plántulas, o si el químico causó más daño en las jóvenes que en las germinadas.

Científicamente, este tipo de diseño factorial fue útil porque consideró que **la respuesta de las plantas a un insecticida podía estar influenciada por su estado de desarrollo fisiológico**. Las plantas en germinación tenían cutículas más delgadas y sistemas radiculares menos desarrollados, lo que podía aumentar su sensibilidad a compuestos activos. Por otro lado, las plantas adultas presentaban una mayor capacidad de detoxificación o regeneración, pero también podían acumular residuos más fácilmente. Analizar los efectos según estas variables aportó **profundidad biológica** al estudio.

Tabla 2. Presencia de Plagas (por hoja)

Esta tabla recoge la cantidad de insectos observados por hoja en varias plantas de los grupos control (GC) y químico (GQ), específicamente en etapas de desarrollo como planta joven (P.J.) y planta adulta (P.A.). Los datos se expresan en dos columnas: la primera indica el rango aproximado de insectos encontrados por hoja (por observación directa), y la segunda muestra la calificación correspondiente según una escala estandarizada de presencia de plagas, numerada del 0 al 4.

Leyenda de los datos: La *Escala de presencia de plagas* utilizada va del 0 al 4, donde **0** indica *sin insectos visibles*, **1** representa *menos de 5 insectos por hoja*, **2** significa *entre 5 y 10 insectos por hoja*, **3** corresponde a *más de 10 insectos por hoja*, y **4** indica *una infestación severa*. Esta escala permite cuantificar de forma objetiva el

grado de afectación por plagas en las hojas, permitiendo una comparación clara entre grupos y etapas de desarrollo.

Planta N°	Etapa	Grupo	Insectos por hoja	Escala de presencia de plagas (0-4)
10	P.J.	GC	3 - 4	1
12	P.J.	GC	2 - 4	1
14	P.J.	GQ	1 - 2	1
19	P.A.	GC	6 - 10	2
20	P.A.	GC	5 - 7	2
21	P.A.	GC	3 - 4	1
23	P.A.	GQ	3 - 4	1
24	P.A.	GQ	2 - 3	1

Los resultados mostraron que todas las plantas del grupo control (GC) evaluadas presentaron niveles de plaga, con conteos que oscilaron entre 2 y 10 insectos por hoja. En plantas adultas como la 19 y la 20, se observaron entre 5 y 10 insectos, alcanzando una puntuación de 2 en la escala, lo que indicaba un nivel moderado de infestación. Las plantas jóvenes del GC, como la 10 y la 12, presentaron un número levemente menor de insectos, situándose en el nivel 1 de la escala, pero aun así reflejaron presencia constante de plagas. Esto sugería que, al no recibir ningún tipo de tratamiento insecticida, estas plantas quedaron expuestas al ataque continuo de insectos como la mosca blanca y orugas, especialmente en sus zonas tiernas y brotes nuevos.

Por otro lado, las plantas tratadas con el insecticida químico (GQ), como la 14, 23 y 24, también presentaron insectos, aunque en menor cantidad, con rangos de entre 1 y 4 por hoja y una puntuación de 1. Aunque se notó una reducción en comparación con el grupo control, esta disminución no fue suficiente para eliminar completamente la plaga. Esto

confirmó la **eficacia parcial** del insecticida químico en condiciones experimentales controladas. Además, su acción no fue homogénea, y posiblemente se vio afectada por factores como la resistencia de los insectos o una limitada cobertura de las hojas.

Desde un enfoque científico, la persistencia de insectos incluso en el grupo tratado con producto químico podría explicarse por la **aclimatación o resistencia adaptativa** de las plagas al ingrediente activo del insecticida, una problemática frecuente en contextos agrícolas cuando se usa un mismo compuesto de forma repetitiva (Puerres, 2024). Además, factores ambientales como el clima, la ventilación y la forma de aplicación también pudieron haber afectado la eficacia del químico, que requiere muchas veces de aditivos estabilizadores para lograr un efecto prolongado, lo cual no siempre fue factible en este experimento.

En resumen, esta tabla evidenció que el **grupo de control** fue el más vulnerable a las plagas, seguido por el **grupo químico**, cuya reducción fue limitada. Cabe resaltar que en esta tabla **no se incluyeron plantas del grupo orgánico (GO)** debido a la ausencia total de insectos visibles tras los primeros días de aplicación, un hecho que fue desarrollado en los resultados correspondientes a ese grupo.

Tabla 3. Condición de las Hojas (Fitotoxicidad)

Esta tabla recoge las observaciones realizadas sobre el estado de las hojas de las plantas participantes en el experimento, con el objetivo de identificar posibles daños relacionados con fitotoxicidad ocasionados por los tratamientos aplicados. Los datos están organizados por número de plantas, etapa de desarrollo (P.J. = planta joven; P.A. = planta adulta), grupo experimental (GC = control, GQ = químico, GO = orgánico), observaciones visuales y calificación en una escala de daño.

Leyenda de los datos: La *Escala de daño en hojas* va de **0 a 4**, donde **0** representa *sin daño visible*, **1** indica *ligero amarillamiento o puntos pequeños*, **2** refleja *decoloración significativa y daños visibles*, **3** se asocia a *necrosis parcial*, y **4** implica *marchitamiento total*. Esta escala permite medir de forma estandarizada el nivel de fitotoxicidad o estrés foliar inducido por los insecticidas o la falta de protección.

Planta N°	Etapa	Grupo	Observaciones	Escala de daño en hojas (0-4)
10	P.J.	GC	Manchas blancas	1
11	P.J.	GC	Manchas blancas	1
12	P.J.	GC	Manchas blancas	1
14	P.J.	GQ	Residuo blancos y quemaduras	3
15	P.J.	GQ	Residuo blancos y quemaduras	3
17	P.J.	GO	Residuos de jabón potásico	0
18	P.J.	GO	Residuos de jabón potásico	0
19	P.A.	GC	Decoloración significativa y quemaduras, pérdida visible de masa foliar	2 - 3
20	P.A.	GC	Decoloración significativa y pérdida visible de masa foliar	2
21	P.A.	GC	Decoloración significativa y quemaduras, pérdida	2 - 3 - 4

			visible de masa foliar y marchitamiento total	
22	P.A.	GQ	Residuos blancos, quemaduras, pérdida visible de masa foliar, decoloración significativa amarilla	2 - 3
23	P.A.	GQ	Residuos blancos, quemaduras, decoloración significativa amarilla	2 - 3
24	P.A.	GQ	Residuos blancos, quemaduras, decoloración significativa amarilla	2 - 3
25	P.A.	GO	Residuos de jabón potásico, quemaduras parciales en los márgenes y puntos pequeños	3
26	P.A.	GO	Saludable	0
27	P.A.	GO	Residuos de jabón potásico	0

Gráficos de la tabla 3

Gráfico 1: Distribución de Daño en Hojas (Escala 0–4)

Este gráfico circular muestra la proporción de hojas evaluadas en función de su nivel de daño, según la escala de fitotoxicidad del 0 al 4. Se observa que el **nivel 0** (sin daño visible) representa una porción significativa, indicando que varias plantas, especialmente del grupo tratado con el insecticida orgánico (GO), mantuvieron un estado saludable. Los **niveles 1 y 2** (manchas blancas y decoloración) aparecen en menor medida y están más asociados al grupo de control (GC), que no recibió tratamiento contra plagas. Los niveles **3 y 4**, que corresponden a necrosis parcial y marchitamiento total, se vinculan principalmente al grupo químico (GQ) y evidencian el efecto negativo del insecticida sintético en la fisiología de las plantas. Este gráfico permite visualizar claramente que los daños más graves fueron minoritarios y concentrados en un solo grupo, mientras que el tratamiento orgánico resultó el menos agresivo.

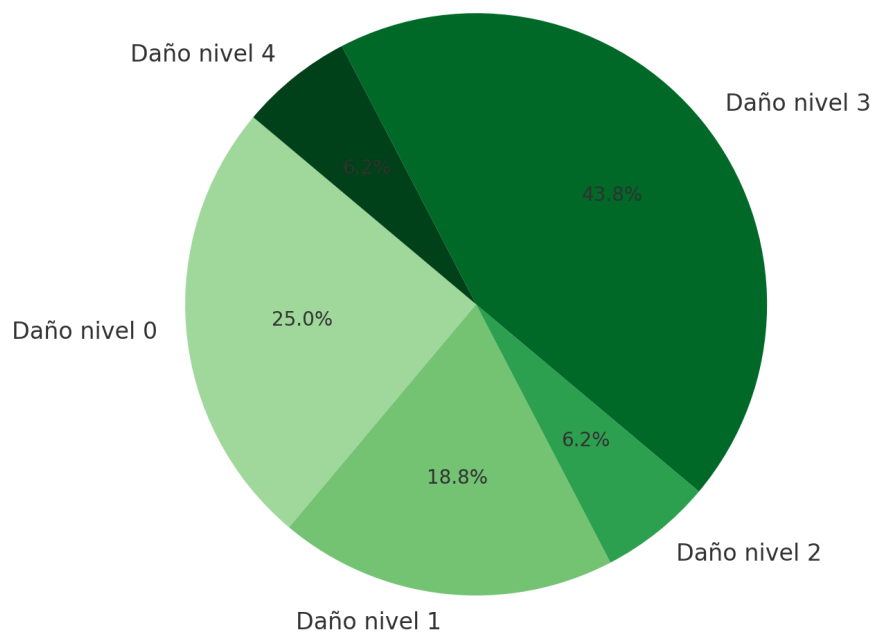
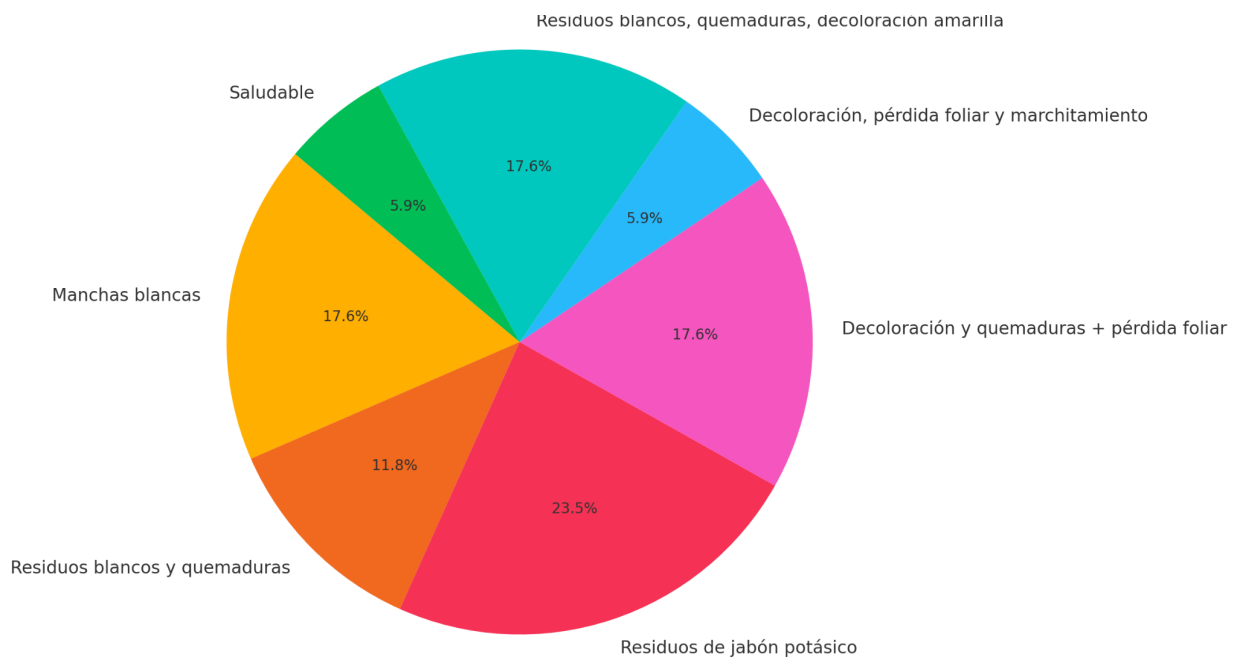


Gráfico 2: Distribución de Observaciones en Hojas

Este gráfico circular muestra la proporción de hojas evaluadas en función de su nivel de daño, según la escala de fitotoxicidad del 0 al 4. Se observa que el **nivel 0** (sin daño visible) representa una porción significativa, indicando que varias plantas, especialmente del grupo tratado con el insecticida orgánico (GO), mantuvieron un estado saludable. Los **niveles 1 y 2** (manchas blancas y decoloración) aparecen en menor medida y están más asociados al grupo de control (GC), que no recibió tratamiento contra plagas. Los niveles **3 y 4**, que corresponden a necrosis parcial y marchitamiento total, se vinculan principalmente al grupo químico (GQ) y evidencian el efecto negativo del insecticida sintético en la fisiología de las plantas. Este gráfico permite visualizar claramente que los daños más graves fueron minoritarios y concentrados en un solo grupo, mientras que el tratamiento orgánico resultó el menos agresivo.



En el **grupo de control (GC)**, aunque no se aplicó ningún tratamiento insecticida, las plantas mostraron signos de deterioro en el follaje, como **manchas blancas** en las plantas jóvenes y **decoloración significativa, pérdida de masa foliar y quemaduras** en las plantas adultas. Estos daños, clasificados entre los niveles 1 y 4, pueden atribuirse directamente a la acción de las plagas, principalmente la mosca blanca y las orugas, que se alimentan de los tejidos foliares y provocan debilitamiento, clorosis y necrosis progresiva (Koppert B.V., 2025). Además, la exposición continua a factores ambientales sin protección química ni natural aumentó el estrés biótico.

En el **grupo tratado con insecticida químico (GQ)** se observaron los niveles de daño más severos en términos de fitotoxicidad. Las plantas jóvenes (por ejemplo, la 14 y la 15) y adultas (22 a 24) presentaron **quemaduras, residuos blancos persistentes y decoloración amarilla**. Estos síntomas corresponden a niveles 2 y 3 de daño, con algunos casos limítrofes entre necrosis parcial y daño estructural significativo. El residuo blanco puede ser resultado de compuestos sintéticos insolubles o mal absorbidos por la planta, mientras que las quemaduras se deben posiblemente a una **fotosensibilización química**,

fenómeno en el que ciertos ingredientes activos reaccionan ante la luz solar, provocando daño celular (Quinn, Kessell, & Weston, 2014). Además, muchos insecticidas químicos contienen solventes agresivos o surfactantes que alteran la cutícula de la hoja, incrementando la pérdida de agua y generando estrés osmótico (INTAGRI, 2017).

El **grupo tratado con insecticida orgánico (GO)** mostró el mejor estado general de las hojas. En plantas jóvenes como la 17 y 18, y adultas como la 26 y 27, **no se evidenciaron signos de fitotoxicidad**, recibiendo una calificación de 0. En algunos casos (planta 25), se observó **residuos de jabón potásico y quemaduras marginales leves**, que fueron aisladas y probablemente causadas por acumulación localizada o mal enjuague tras la aplicación nocturna. El jabón potásico, aunque natural y biodegradable, puede generar leve irritación foliar si no se disuelve completamente, pero su efecto no fue sistémico ni progresivo (Brouhon, 2025).

Desde una perspectiva científica, estos resultados confirman que el insecticida orgánico no induce daño estructural a las hojas, ni afecta negativamente su fisiología. El **d-limoneno** actúa sobre el sistema nervioso de los insectos, pero no interfiere con la función celular vegetal, y su combinación con **emulsionantes suaves como el jabón potásico** permite una distribución uniforme sin alterar la fotosíntesis ni el equilibrio osmótico (Zuvamesa, 2023). A diferencia de los químicos, el producto orgánico mostró una **biocompatibilidad alta**, lo que lo posiciona como una opción segura para uso prolongado en espacios verdes urbanos o domésticos.

En resumen, esta tabla evidencia que la **fitotoxicidad fue mínima o nula** en el grupo orgánico, moderada en el grupo control debido a plagas, y **alta en el grupo químico**, lo cual subraya la importancia de considerar no solo la efectividad insecticida, sino también el impacto secundario de los productos sobre la salud vegetal.

Tabla 4. Medición de pH del Suelo

Esta tabla muestra los resultados del monitoreo del pH del suelo en los tres grupos experimentales (control, químico y orgánico), tanto antes como después de la aplicación de los tratamientos. El objetivo fue evaluar si alguno de los insecticidas modificaba significativamente la acidez o alcalinidad del suelo, lo que podría representar un impacto ambiental negativo.

Leyenda de la tabla: el **pH inicial** corresponde a la medición registrada antes de iniciar los tratamientos; el **pH final** indica el rango de acidez o alcalinidad observado al concluir el experimento. La **variación** refleja el cambio entre el valor inicial y final, mientras que la casilla de método (“SI”) confirma que las mediciones se realizaron con **papel indicador de pH**. Finalmente, en la columna de notas se aclara que los valores fueron promediados entre las tres etapas de crecimiento vegetal para representar el efecto global de cada tratamiento, y que no hubo desviaciones importantes entre las muestras dentro de un mismo grupo.

Grupo	pH Inicial	pH Final	Variación	Método de medición (papel pH)	Notas
GC	7	7	N/A	SI	Aplica para las 3 etapas. Resultados promediados, sin embargo, no presentan variación significativa, más bien, similitud en la mayoría
GQ	7	5-6	2-1	SI	
GO	7	6-7	1-0	SI	

En el **Grupo Control (GC)**, que no recibió insecticidas, el pH del suelo se mantuvo estable en 7.0 a lo largo de todo el experimento. Esta constancia sugiere que el riego con agua y la exposición natural no alteraron las propiedades químicas del sustrato. Es decir, el suelo se conservó en un estado **neutro**, lo cual es óptimo para la mayoría de las especies vegetales

y demuestra que, en ausencia de plaguicidas, la microbiota y los nutrientes del suelo permanecieron sin perturbaciones (Brandt Europe, 2025).

En el **Grupo Químico (GQ)**, que fue tratado con insecticidas comerciales, se detectó una **disminución del pH**, con valores finales entre 5 y 6. Esta caída representa una acidificación moderada, atribuible a los componentes sintéticos presentes en la formulación del insecticida, los cuales probablemente liberaron subproductos ácidos al degradarse. Estos compuestos pueden afectar negativamente la microbiota del suelo, limitar la disponibilidad de nutrientes esenciales como el fósforo y causar toxicidad radicular, afectando así la salud y el crecimiento de las plantas (Brandt Europe, 2025). Además, un pH más ácido puede favorecer la acumulación de metales pesados o generar condiciones desfavorables para ciertos organismos beneficiosos (INTAGRI, 2023).

En contraste, el **Grupo Orgánico (GO)** presentó un comportamiento mucho más equilibrado. Aunque el insecticida orgánico D-LimoSpray tiene un pH ácido (4–5), su aplicación no generó alteraciones significativas en el sustrato. El pH del suelo al final del experimento se mantuvo entre 6 y 7, lo que sugiere que el producto fue **biológicamente asimilado o neutralizado de forma natural**. Este resultado indica que el insecticida orgánico, al ser biodegradable y derivado de compuestos naturales como el d-limoneno y el jabón potásico, no interfirió con el equilibrio químico del suelo. Más aún, es probable que el suelo haya compensado la acidez gracias a su capacidad *tampón* y a la actividad microbiana, permitiendo mantener un entorno saludable para las raíces sin necesidad de correcciones externas (Agronet, 2023).

En resumen, los datos de esta tabla refuerzan el argumento de que el insecticida orgánico no solo es efectivo contra las plagas, sino que también respeta la química del suelo.

Frente a la acidificación causada por el insecticida químico, el tratamiento natural demostró ser **ambientalmente más seguro y compatible con la sostenibilidad agrícola**.

Tabla 5. Presencia de Residuos en el Agua Drenada

Esta tabla muestra las observaciones realizadas sobre el agua drenada de las macetas luego del riego en los tres grupos experimentales (GC, GQ y GO), enfocándose en posibles residuos generados por los tratamientos aplicados. El análisis se realizó a través de observación directa del agua recogida en bandejas bajo las macetas, considerando aspectos como color, olor y presencia de sedimentos. Además, se indica si se detectaron residuos visibles tras el escurrimiento.

Leyenda de la tabla: la columna de **observación del agua** describe las características físicas y olfativas del agua drenada al finalizar el experimento. La casilla de "**¿Residuos visibles?**" registra si se identificaron restos perceptibles a simple vista, y las **notas** aclaran que estos resultados fueron uniformes para las tres etapas de desarrollo de las plantas (germinación, jóvenes y adultas).

Grupo	Observación del agua (color, olor, sedimento)	¿Residuos visibles? (Sí/No)	Notas
GC	Incolora y con presencia de tierra limpia	No	Aplica para las 3 etapas
GQ	Color mostaza, olor fuerte y desagradable, tierra	No	
GO	Incolora y con presencia de tierra limpia	No	

En el **Grupo de Control (GC)**, como era esperado, el agua drenada se observó **incolora y limpia**, aunque con restos normales de tierra debido al riego. No se encontraron residuos adicionales ni alteraciones perceptibles en el agua, lo que valida que, al no haber

aplicación de ningún tipo de producto, el suelo mantuvo sus propiedades sin liberar compuestos ni contaminantes.

El **Grupo Químico (GQ)** mostró diferencias significativas. El agua drenada presentaba un **color mostaza**, con **olor fuerte y desagradable** y partículas de tierra. Aunque no se observaron residuos sólidos flotantes o sedimentados de forma clara (por lo tanto se indicó "No" en la casilla correspondiente), el cambio en color y olor indica la posible **presencia de compuestos químicos disueltos**, que fueron lixiviados del sustrato durante el riego. Estos hallazgos son preocupantes, ya que pueden representar una **contaminación potencial de cuerpos de agua** si este tipo de tratamiento se utiliza a gran escala en ambientes naturales o urbanos. La falta de residuos visibles no implica necesariamente ausencia de toxicidad, ya que muchas sustancias químicas se disuelven en el agua sin formar sedimentos.

Cabe destacar que este comportamiento puede estar relacionado con la **naturaleza organoclorada del insecticida utilizado**, cuyo **componente principal fue el "2,2-dicloroetileno" (2,2 Dichloroethenyl)**. Los insecticidas organoclorados son conocidos por su **alta persistencia en el ambiente**, su tendencia a **bioacumularse en organismos vivos** y su capacidad para **disolverse en agua sin generar residuos visibles**, lo que dificulta su detección inmediata pero no reduce su toxicidad (American Chemical Society, 2021). Por tanto, la ausencia de sedimentos no implica inocuidad, y este tipo de formulaciones requiere especial atención en cuanto a su uso responsable y sus posibles implicaciones ambientales.

Por su parte, en el **Grupo Orgánico (GO)**, el agua drenada también se mantuvo **incolora** y con **presencia únicamente de tierra limpia**, igual que en el grupo control. Esta observación refuerza la hipótesis de que el insecticida orgánico, al estar formulado con compuestos biodegradables como el *d-limoneno* y el jabón potásico, **no genera residuos sólidos ni químicos persistentes** en el entorno. Además, el agua sin olor ni color sugiere que

no hubo lixiviación significativa de componentes activos, lo que representa una ventaja clara frente a los insecticidas sintéticos desde la perspectiva de la protección de cuerpos de agua y sistemas de riego reciclado. **Sin embargo, es importante destacar que el uso reiterado de productos con base en jabón potásico podría, a largo plazo, favorecer procesos de eutrofización en cuerpos de agua.** Este fenómeno ocurre cuando se acumulan nutrientes como el potasio en exceso, provocando un crecimiento acelerado de algas y microorganismos, lo que reduce el oxígeno disuelto y altera el equilibrio del ecosistema acuático (Fundación Aquae, 2025). **Aunque durante las dos semanas de duración del experimento no se detectaron signos visibles de eutrofización, por lo cual no fue incluido en los datos y estadísticas, su potencial aparición en sistemas agrícolas o urbanos con escasa renovación hídrica debe ser considerado en estudios prolongados o implementaciones a gran escala.** Esta advertencia complementa los resultados ambientales favorables del GO y refuerza la necesidad de un monitoreo continuo para garantizar una sostenibilidad integral.

En conjunto, los datos de esta tabla confirman que el uso de insecticidas orgánicos no afecta negativamente la calidad del agua drenada, mientras que los insecticidas químicos, aunque no siempre dejan residuos visibles, pueden alterar las características físico-químicas del agua, lo cual representa un **riesgo ambiental latente**.

Tabla 6. Evaluación de la Efectividad del Insecticida

Grupo	Etapa de Planta	Nº Promedio de insectos (día 0)	Nº Promedio (día 14)	Reducción (%)	Efectividad relativa
GC	Germinación	3.5	4.0	-14.3%	Nula
GC	Planta joven	3.0	4.0	-33.3%	Nula
GC	Planta adulta	6.0	7.0	-16.7%	Nula
GQ	Germinación	1.5	1.5	0%	Baja

GQ	Planta joven	2.0	3.0	-50%	Baja
GQ	Planta adulta	2.5	2.5	0%	Baja
GO	Germinación	3.0	0.0	100%	Alta
GO	Planta joven	3.0	0.0	100%	Alta
GO	Planta adulta	3.5	0.0	100%	Alta

- **Grupo Control (GC):** Los promedios iniciales de insectos por hoja se mantuvieron iguales o aumentaron ligeramente al finalizar el experimento, reflejando que sin tratamiento las plagas continuaron y aumentaron en algunos casos, lo que indica que no hubo reducción y por tanto, la efectividad es nula.
- **Grupo Químico (GQ):** Se observó una reducción mínima o ninguna en la mayoría de los casos. Algunos promedios incluso aumentaron levemente. Esto indica una efectividad baja, pues el insecticida químico no eliminó por completo las plagas ni impidió su presencia constante.
- **Grupo Orgánico (GO):** Mostró una reducción total del 100% en todos los tipos de planta, logrando eliminar completamente las plagas detectadas al inicio, lo que evidencia una alta efectividad del insecticida orgánico desarrollado.

11.2. Análisis de los resultados del Bloque Físico: Evaluación de la Toxicidad Ambiental

El análisis físico realizado en este estudio no fue un ejercicio aislado, sino una forma de visualizar cómo el comportamiento de un insecticida en el ambiente **puede multiplicar o reducir su nivel de toxicidad**, incluso antes de que interactúe directamente con las plantas. Al observar la **dispersión, distancia de alcance y tiempo de suspensión en el aire**, pudimos

deducir que un insecticida químico, por su capacidad de permanecer en el ambiente, **augmenta las probabilidades de contaminar zonas no deseadas**. Esto es especialmente relevante en contextos urbanos y escolares, donde **los árboles y jardines no siempre están aislados**, y un producto con alta movilidad aérea puede terminar afectando especies que no estaban destinadas a ser tratadas.

Desde el punto de vista físico y ecológico, un insecticida que se **arrastra con el viento o es lavado por la lluvia** puede afectar no solo a las hojas, sino también a los suelos, raíces y cuerpos de agua cercanos. Este comportamiento hace que **la toxicidad no sea localizada**, sino **difusa**, afectando a microorganismos esenciales para el equilibrio del ecosistema. Este fenómeno, conocido como **deriva química**, fue una de las razones por las cuales evaluamos también el insecticida natural: si este producto se deposita más rápidamente y permanece menos tiempo en el aire, **su impacto ambiental se reduce de forma significativa**. En este sentido, la medición del ángulo de dispersión, la distancia de alcance y el tiempo de sedimentación **permitieron estimar su nivel de seguridad sin necesidad de dañar directamente otros seres vivos**.

Por último, este enfoque permitió traducir conceptos complejos de física (como la **Ley de Stokes** y la **dinámica de fluidos**) en criterios de evaluación ambiental concretos. No se trató solo de “ver qué tanto se rociaba”, sino de **entender cómo ciertas propiedades físicas están directamente relacionadas con el riesgo ecológico de un producto**. Si el insecticida natural cae rápidamente, deja menos residuos y no viaja más allá de su objetivo, entonces **tiene un diseño más compatible con sistemas urbanos verdes**, que dependen del equilibrio entre el control de plagas y la protección de la biodiversidad. Así, se integró la

ciencia física en el estudio ambiental de los insecticidas, aportando una **justificación sólida para proponer soluciones más sostenibles.**

12. Conclusión

La investigación permitió comprobar que el insecticida orgánico elaborado a partir de cáscaras de naranja (D-LimoSpray) es una alternativa eficaz, ecológica y viable frente a los insecticidas químicos convencionales. Se logró demostrar que el producto natural no solo eliminó eficazmente las plagas, sino que lo hizo sin comprometer la salud del suelo, el agua o el aire, preservando además la vida de polinizadores como abejas y colibríes. Estos resultados responden directamente a los objetivos planteados y confirman la hipótesis de que un insecticida orgánico puede controlar plagas con menor impacto ambiental.

Desde la perspectiva ambiental, se observó que el insecticida orgánico presentó una dispersión más controlada, menor tiempo de suspensión en el aire y una rápida biodegradación, lo que disminuye significativamente los riesgos de contaminación en zonas verdes. Por el contrario, el insecticida químico mostró signos de fitotoxicidad, residuos persistentes y alteraciones en el pH del suelo, lo que confirma sus efectos negativos sobre el ecosistema. Estos hallazgos no solo validan la eficacia del producto natural, sino que también evidencian su compatibilidad con prácticas sostenibles y de bajo riesgo ecológico.

Cabe destacar que, aunque el insecticida orgánico tuvo un buen desempeño general, se presentaron leves quemaduras en una planta adulta durante su aplicación. Estas fueron de menor intensidad en comparación con las causadas por el insecticida químico, pero representan un aspecto importante a considerar. En este sentido, **uno de los aspectos a optimizar en aplicaciones futuras es la cantidad de jabón utilizada en la mezcla, ya que se evidenció que un exceso puede dejar residuos visibles o causar daño en las hojas.**

En conclusión, este proyecto no solo ofrece una solución concreta al problema del uso excesivo de químicos en la agricultura y jardinería, sino que también demuestra cómo la ciencia escolar puede generar conocimiento útil, replicable y comprometido con el medio ambiente. El insecticida D-LimoSpray representa una opción segura, accesible y efectiva para el control de plagas, reafirmando que la innovación puede ir de la mano con la sostenibilidad y el respeto por la biodiversidad.

13. Recomendaciones

Implementar y promover el uso de insecticidas orgánicos en entornos escolares, comunitarios y residenciales. A partir de los resultados obtenidos, se evidencia que productos como el D-LimoSpray, elaborados con ingredientes naturales y accesibles como cáscaras de naranja, ofrecen una protección efectiva contra plagas sin generar impactos negativos en el ambiente. Por tanto, se recomienda su uso como primera opción en espacios verdes urbanos, jardines escolares y huertos comunitarios. Su bajo costo, fácil preparación y alta efectividad lo hacen ideal para ser replicado en diferentes contextos.

Reducir progresivamente el uso de insecticidas químicos, especialmente en áreas sensibles ecológicamente. La investigación mostró que estos productos no solo son menos eficaces en ciertos casos, sino que además generan residuos persistentes, alteran el pH del suelo y afectan negativamente a polinizadores esenciales para la biodiversidad. Por ello, se recomienda una revisión de las prácticas agrícolas y de jardinería que priorice el reemplazo gradual de productos sintéticos por alternativas orgánicas más seguras.

Realizar estudios a largo plazo para evaluar el impacto acumulativo de los insecticidas orgánicos. Si bien en el corto plazo el D-LimoSpray demostró ser inocuo y eficaz, sería recomendable realizar investigaciones complementarias que evalúen su efecto en ciclos más prolongados, en distintos tipos de suelos y con diversas especies vegetales, para garantizar su sostenibilidad y funcionalidad a gran escala.

Asimismo, llevar a cabo estudios que permitan monitorear posibles efectos secundarios como la eutrofización en cuerpos de agua cercanos, especialmente en entornos con escasa renovación hídrica. Aunque durante este experimento no se detectaron

signos visibles de dicho fenómeno, el uso repetido de ingredientes como el jabón potásico podría derivar en una acumulación de nutrientes, principalmente potasio, que favorezca un crecimiento excesivo de algas y altere el equilibrio ecológico acuático. **Incluir esta variable en estudios posteriores asegurará un enfoque más completo y preventivo en la aplicación del insecticida en entornos reales.**

Apoyar con políticas públicas e incentivos el desarrollo y comercialización de bioinsecticidas locales. Las autoridades ambientales, agrícolas y educativas podrían fomentar proyectos escolares como este mediante financiamiento, reconocimiento académico y campañas de concientización, promoviendo así una cultura de innovación sostenible. Esto también podría abrir oportunidades para emprendedores jóvenes que deseen transformar iniciativas científicas en soluciones prácticas para sus comunidades.

Desarrollar guías prácticas de seguridad y aplicación para insecticidas orgánicos. Aunque estos productos tienen baja toxicidad, su uso inadecuado podría causar molestias o efectos no deseados. Por tanto, se recomienda la elaboración de instructivos visuales y protocolos breves que orienten a los usuarios sobre las dosis, métodos de aplicación, almacenamiento y descarte responsable, garantizando así su efectividad y seguridad.

Se recomienda expandir con otro tipo de plantas para ampliar el rango de uso del insecticida. Con el propósito de analizar cómo puede afectar en otro tipo de plantas, para comprobar si se obtienen los mismos resultados, y como resultado se logre su comercialización.

REFERENCIAS

- Agbar Agriculture. (2024). *Las plagas agrícolas: desafíos para la agricultura en tiempos de cambio climático*. Agbar Agriculture. <https://agbaragriculture.com/las-plagas-agricolas-desafios-para-la-agricultura-en-tiempos-de-cambio-climatico/>
- Agencia de Cooperación Alemana. (2020). *Impacto del uso de plaguicidas en los suelos agrícolas de la región del Cibao, República Dominicana*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Recuperado de <https://www.giz.de>
- Agronet (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia). (2023). *Conozca en qué consiste la capacidad buffer del suelo* [Artículo web]. Agronet. Recuperado de <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Conozca-en-qué-consiste-la-capacidad-buffer-del-suelo.aspx>
- Altieri, M. A. (2010). *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. AgroEco. <https://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/10/Libro-Agroecologia.pdf>
- American Chemical Society. (2021, 13 de diciembre). *Dichlorodiphenyltrichloroethane* [Artículo web]. Molecule of the Week Archive. <https://www.acs.org/molecule-of-the-week/archive/d/dichlorodiphenyltrichloroethane.html>
- Brandt Europe. (2025). *Importancia del pH del suelo en la agricultura* [Artículo web]. Brandt Europe. <https://brandteurope.com/importancia-ph-suelo-agricultura/>
- Brouhon, Q. (2025). *Qué es jabón potásico*. Pur Plant. Fuente: Internet. <https://www.purplant.es/blog/que-es-jabon-potastico/>

Cabezas, D. (2025, 17 febrero). LOS40. *LOS40*.

<https://los40.com/2025/02/17/demostrado-los-plaguicidas-afectan-gravemente-a-la-bio-diversidad/>

Communications. (2023, 19 octubre). Cómo combatir plagas con insecticidas orgánicos sin perjudicar el medioambiente. *BBVA NOTICIAS*.

<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/como-combatir-plagas-con-insecticidas-organicos-sin-perjudicar-el-medioambiente/>

Diario Oficial de la Unión Europea. (2023). *Reglamento de Ejecución (UE) 2023/200 de la Comisión, de 30 de enero de 2023, por el que se renueva la aprobación de la sustancia activa "aceite esencial de limón" con arreglo al Reglamento (CE) n.º 1107/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a la comercialización de productos fitosanitarios, y por el que se modifica el anexo del Reglamento de Ejecución (UE) n.º 540/2011.*

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=OJ:L:2023:027:FULL>

EPA. (2024). *La importancia de la educación ambiental.*

<https://espanol.epa.gov/espanol/la-importancia-de-la-educacion-ambiental>

Fernández, L., & Mora, M. (2020). *Eficiencia de los extractos cítricos en el control de plagas agrícolas en sistemas orgánicos*. *Revista Latinoamericana de Agricultura Orgánica*, 15(2), 123-134. <https://doi.org/10.1016/j.lana.2020.01.003>

Fundación Aequae. (2025). *Eutrofización* [Artículo web]. Fundación Aequae.

<https://www.fundacionaequae.org/wiki/eutrofizacion/>

García, A. M., & Rodríguez, J. L. (2013). Aplicación de conceptos clásicos de la Física en la práctica ingenieril: La ley de Stokes como herramienta conceptual en el análisis de

- procesos de deshidratación del petróleo. *Educación Química*, 24(4), 445-452.
<https://www.elsevier.es/es-revista-educacion-quimica-78-articulo-aplicacion-conceptos-clasicos-fisica-practica-S0187893X13731963>
- García, F., & Mejía, A. (2019). *Los efectos de los pesticidas en la salud humana: Un análisis crítico en el contexto agrícola de América Central y el Caribe*. *Revista de Salud Pública y Toxicología*, 42(4), 300-315. <https://doi.org/10.1080/01234467.2019.1604749>
- González, R., Ramírez, J., & Soto, V. (2020). *Impacto del uso de pesticidas sobre la microbiota del suelo y su relación con la fertilidad*. *Journal of Agricultural Science*, 58(3), 240-258. <https://doi.org/10.1007/s00572-019-00883-1>
- Hernández, C., & Cedeño, M. (2022). *Estrategias agroecológicas para el control de plagas con productos naturales en huertos urbanos en República Dominicana*. *Revista Dominicana de Agricultura y Sostenibilidad*, 9(1), 48-59.
<https://doi.org/10.5678/rda.2022.09148>
- Herrera Prat, Mario Ignacio, García de la Figal Costales, Armando, Ramos Carvajal, Ernesto, & Martín Texeira, Mauri. (2012). *Simulación mediante la dinámica de fluidos por computadora del efecto de la velocidad del viento en el desempeño de los pulverizadores agrícolas de ventilador*. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(1), 19-25. Recuperado en 04 de abril de 2025, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542012000100003&lng=es&tlng=es.
- INTAGRI. (2017). *Mecanismos químicos de defensa en las plantas* [Artículo técnico, Serie Fitosanidad No. 86]. Intagri S.C. México. Recuperado de

<https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/mecanismos-quimicos-de-defensa-en-las-plantas>

INTAGRI. (2023). *Disponibilidad de nutrimentos y el pH del suelo* [Artículo web]. Intagri S.C.

<https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/disponibilidad-de-nutrimentos-y-el-ph-del-suelo>

JBT Corporation. (2021). *D-Limoneno: cómo monetizan los residuos los citricultores brasileños*.

<https://blog.jbtc.com/es/2021/09/27/d-limonene-how-brazilian-citrus-growers-are-monetizing-residues/>

Koppert B.V. (2025). *Moscas blancas* [Página web]. Koppert España.

<https://www.koppert.es/plagas-en-plantas/moscas-blancas/>

Laboratorio de Suelos del Instituto Agrario Dominicano. (2021). *Evaluación de plaguicidas orgánicos en huertos urbanos de la provincia de San Cristóbal*. Instituto Agrario Dominicano. Recuperado de <https://www.iad.gov.do>

Martínez, G., & Pérez, M. (2020). *Efectos de los plaguicidas sobre las abejas polinizadoras en América Central*. *Revista de Agricultura y Medio Ambiente*, 12(3), 97-112.

<https://doi.org/10.1515/jagriculture.2020.0032>

Masallá, G. (2025, 28 marzo). Cadena SER. *Cadena SER*.

<https://cadenaser.com/andalucia/2025/03/28/ciclo-de-educacion-y-control-ambiental-de-l-ies-el-getares-radio-algeciras/>

Puerres, C. (2024). *Adaptación y aclimatación* [Presentación en línea]. Scribd.
<https://es.scribd.com/presentation/430480827/Adaptacion-y-Aclimatacion>

Quinn, J. C., Kessell, A., & Weston, L. A. (2014). Productos vegetales secundarios que causan fotosensibilización en herbívoros que pastan: su estructura, actividad y regulación. *International Journal of Molecular Sciences*, 15(1), 1441–1465.
<https://doi.org/10.3390/ijms15011441>

Sierra, L., & Rodríguez, E. (2018). *La reducción de la población de abejas por el uso de insecticidas: Un estudio de caso en la zona cafetalera de Costa Rica*. *Ciencia y Tecnología Agrícola*, 45(1), 75-89. <https://doi.org/10.1061/cta.2018.009>

Torres, R., & Araya, P. (2019). *Impacto de los agroquímicos sobre la biodiversidad microbiana del suelo en cultivos intensivos en América Central*. *Journal of Soil and Environmental Health*, 22(4), 452-467. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2019.05.001>

USAID. (2007). *Residuos de pesticidas en productos agrícolas dominicanos: Impacto en las exportaciones y la salud pública*. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). Recuperado de <https://www.usaid.gov>

U.S. Food and Drug Administration. (2025). Substances Added to Food (formerly EAFUS): D-Limonene.
<https://www.hfpappexternal.fda.gov/scripts/fdcc/index.cfm?id=LIMONENED&set=FoodSubstances>

Wilson, J., Bufa, A. J., & Lou, B. (2007) Capítulo 4. *Física* (6.^a ed.). México: Pearson Educación. ISBN 978-970-26-0851-6.

Zuvamesa. (2023). *D-Limoneno: una alternativa natural a los insecticidas químicos.*

<https://www.zuvamesa.com/es/d-limoneno-una-alternativa-natural-a-los-insecticidas-quimicos/>

Zuvamesa. (2023). *D-Limoneno: qué es y qué usos tiene.*

<https://www.zuvamesa.com/es/d-limoneno-que-es-y-que-usos-tiene/>

ANEXOS



Recolección y clasificación de las plantas: La foto muestra el lugar en donde se evaluaron las plantas para posteriormente comprarlas.



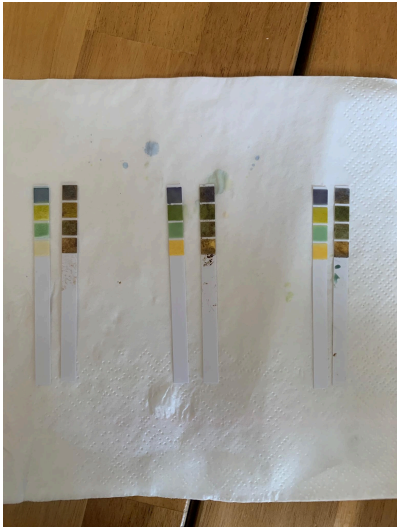
Planta Ficus Moclame: Planta que fue elegida para la etapa joven, por presencia de plagas, la mosca blanca.



Planta Schefflera: Planta que fue elegida para la etapa adulta, por presencia de plagas, la mosca blanca.



Transporte de las plantas: La imagen de visión al transporte de las plantas hacia el jardín de estudio.



Pruebas escalares del pH de los suelos: La que se presenta en el centro es del GC, a su izquierda es del GQ y a su derecha el GO.



Quemaduras en planta joven



Deposito de jabon potasico en planta joven



Decoloración amarilla en planta adulta



Decoloracion amarilla y puntos negros en planta joven



Manchas blancas en planta adulta



Quemadura en planta adulta



Pigmento y decoloración amarilla en planta adulta



Quemadura en planta adulta



Pérdida de masa foliar en planta adulta



Decoloración amarilla y pérdida de masa foliar en planta adulta



Reducción de tamaño en hojas de planta adulta



Deposito de jabon potasico en planta adulta



Preparación del insecticida orgánico



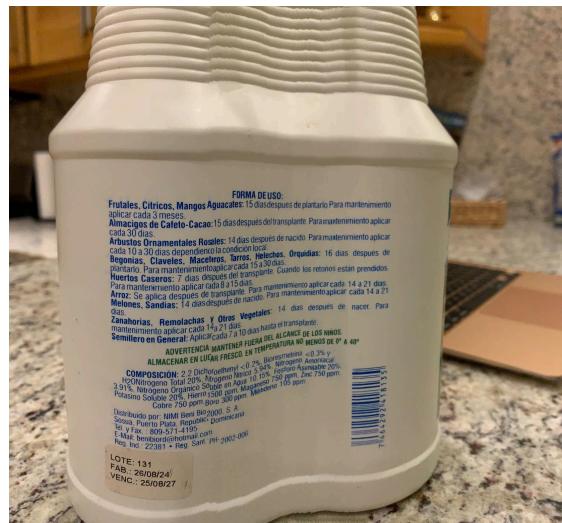
Planta adulta saludable



Insecticida químico comercial utilizado



Preparación del insecticida orgánico



Descripción y composición del insecticida químico