

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

La historia de los insecticidas comienza mucho antes de la invención de los pesticidas sintéticos modernos. Desde tiempos antiguos, las civilizaciones se enfrentaron a la constante amenaza de las plagas agrícolas, que afectaban la producción de alimentos. Sin embargo, fue a finales del siglo XIX y principios del siglo XX cuando se hizo más evidente la necesidad de desarrollar métodos efectivos para el control de plagas en una agricultura en expansión.

El uso de insecticidas naturales tiene raíces profundas en la historia agrícola. En la antigua Mesopotamia, se documenta el uso de compuestos naturales como el azufre para controlar plagas de garrapatas y ácaros en animales domésticos. En el Antiguo Egipto, se utilizaron extracciones de plantas y otras sustancias para repeler insectos que afectaban las cosechas de trigo y cebada. La tierra de diatomeas, un mineral natural, fue uno de los primeros agentes conocidos para el control de insectos, utilizada en el Imperio Romano para combatir plagas de grano, (Pimentel, 1992).

Sin embargo, los avances más significativos en el desarrollo de insecticidas ocurrieron en el siglo XIX, con el descubrimiento de los efectos insecticidas de ciertos compuestos naturales. En 1851, se descubrió que el azufre tenía propiedades insecticidas y fungicidas, lo que llevó a su uso como tratamiento en cultivos. Durante este período también se empezaron a utilizar extractos vegetales y otros compuestos naturales como insecticidas en diferentes partes del mundo, pero los resultados eran limitados y a menudo poco efectivos para enfrentar la magnitud de las plagas.

A medida que la revolución industrial avanzaba, los avances en la química y la sintetización de compuestos impulsaron la creación de insecticidas más eficaces. A comienzos del siglo XX, con el descubrimiento de productos como el DDT en 1939, la industria de los pesticidas sintéticos experimentó un auge. Estos productos ofrecían una eficacia incomparable frente a las plagas, pero a su vez, generaban grandes preocupaciones debido a sus efectos tóxicos para el ambiente y la salud humana, (Carson, 1962).

En 1940, el químico suizo Paul Müller descubrió las propiedades del DDT, lo que lo convirtió en el primer insecticida sintético moderno utilizado masivamente en la agricultura. La rápida adopción del DDT y otros pesticidas sintéticos durante las décadas de 1940 y 1950 dio lugar a una era dorada de control de plagas, pero también a efectos secundarios devastadores en los ecosistemas. La persistencia de estos compuestos en el ambiente, la resistencia desarrollada por las plagas y los riesgos para la salud humana se convirtieron en grandes problemas (Carson, 1962).

A mediados del siglo XX, el uso indiscriminado de pesticidas sintéticos comenzó a generar una creciente preocupación sobre sus efectos a largo plazo en la salud humana, los ecosistemas y la biodiversidad. La publicación del libro "Silent Spring" de Rachel Carson en 1962, que denunciaba los efectos negativos de los pesticidas sintéticos, marcó un hito en la conciencia ambiental y dio lugar a una mayor investigación en alternativas naturales para el control de plagas.

Uno de los compuestos naturales que resurgió en este contexto fue el jabón potásico. El jabón potásico se utilizaba ya en la antigua Grecia para limpiar y tratar la piel, pero su potencial como insecticida no fue plenamente reconocido hasta mediados del siglo XX. El jabón potásico es un insecticida biodegradable derivado de la saponificación de grasas vegetales con hidróxido de potasio (KOH). Se descubrió que las sales potásicas de ácidos grasos, formadas durante la saponificación, tienen una acción tensioactiva, lo que significa que pueden disolver las ceras protectoras de la cutícula de insectos de cuerpo blando, como los pulgones y las moscas blancas, provocando su deshidratación.

En la década de 1970, el uso de jabón potásico comenzó a ser promovido como una alternativa ecológica y menos tóxica para el control de plagas, especialmente en la agricultura orgánica. A diferencia de los pesticidas sintéticos, el jabón potásico no es persistente en el ambiente y se descompone rápidamente en agua y dióxido de carbono, lo que lo convierte en una opción amigable con el medio ambiente.

Hoy en día, el jabón potásico sigue siendo una opción popular en la agricultura ecológica y en el manejo integrado de plagas (MIP). El mercado de insecticidas naturales ha experimentado un auge, impulsado por el creciente interés por soluciones sostenibles y biodegradables. Según el análisis de Market Research Future (2022), el mercado de insecticidas de jabón potásico alcanzó un valor de 1.33 mil millones de dólares en 2022 y se espera que crezca a una tasa compuesta anual de 6.52% hasta 2032, principalmente debido a la expansión de la agricultura orgánica y la creciente demanda de productos agrícolas sostenibles.

En América Latina, la producción de jabón potásico ha aumentado significativamente debido a la expansión de la agricultura orgánica, y países como Brasil y Colombia han incrementado su producción para satisfacer tanto la demanda interna como la regional. En Bolivia, la producción sigue siendo limitada, pero se observa un potencial significativo en el mercado, especialmente al considerar el crecimiento de la agricultura ecológica y la creciente necesidad de alternativas locales a los plaguicidas químicos importados.

Jabón potásico

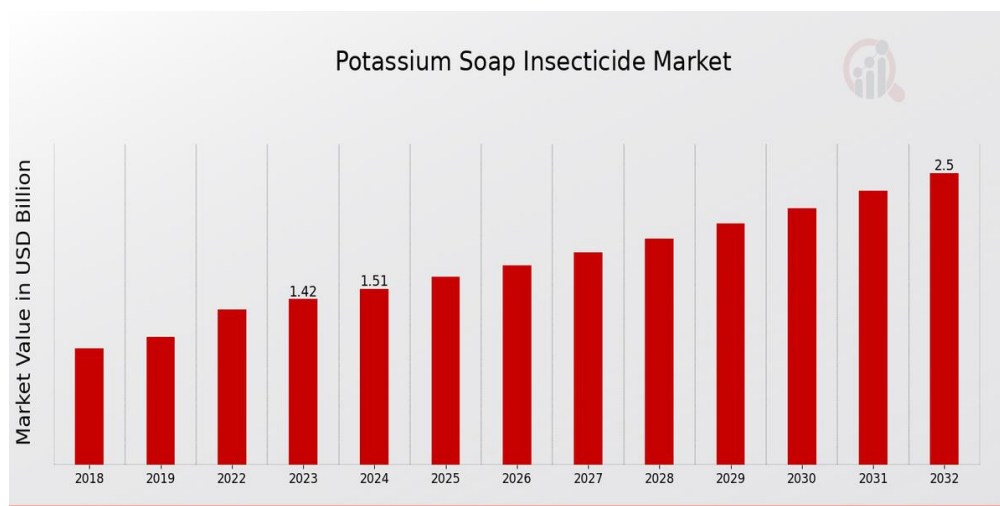
El jabón potásico es un compuesto derivado de la reacción entre ácidos grasos y potasa (hidróxido de potasio, KOH). Este producto es biodegradable y se utiliza ampliamente como insecticida natural debido a su capacidad para eliminar insectos de cuerpo blando sin afectar negativamente al medio ambiente, (Davidson et al., 2001).

En la actualidad, la agricultura boliviana al igual que en otros países de América Latina enfrenta retos crecientes relacionados con el uso intensivo de plaguicidas químicos convencionales. Un estudio realizado en Bolivia reportó que los agricultores frecuentemente usan plaguicidas altamente tóxicos, muchas veces sin la debida instrucción o protección, con consecuencia de intoxicaciones ocupacionales y contaminación ambiental, (SENASAG, 2022).

En este contexto, el uso de jabón potásico como insecticida representa una alternativa viable. Sin embargo, el proceso de saponificación utilizado en su producción genera residuos líquidos o soluciones de jabón que, en la mayoría de los casos, se descartan como desechos. Estos residuos contienen sales potásicas de ácidos grasos, las cuales tienen propiedades tensioactivas, y podrían ser reutilizadas de manera eficiente mediante un proceso de valoración (Blas Angulo & Castro, 2020). Esta reutilización no solo contribuye a la sostenibilidad del proceso industrial, sino que también brinda una oportunidad para la creación de un insecticida ecológico.

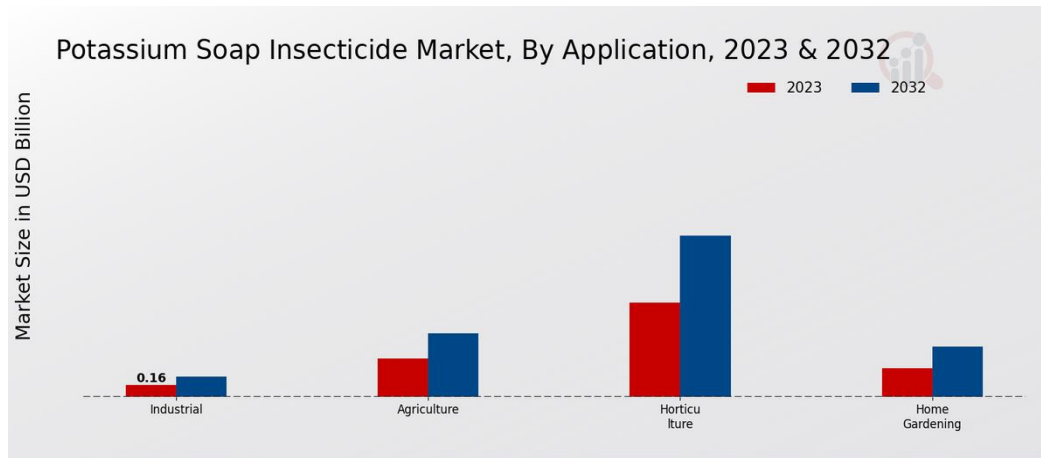
Por otro lado, los sistemas de producción de jabón potásico que emplean hidróxido de potasio (KOH) y aceites vegetales para saponificación generan residuos líquidos o soluciones de jabón que habitualmente se desechan. Estos residuos contienen sales potásicas de ácidos grasos, que tienen actividad tensioactiva, y por tanto, representan una materia prima con potencial valor agregado mediante valorización.

El tamaño del mercado de insecticidas de jabón de potasio se estimó en 1.33 (miles de millones de dólares) en 2022. Se espera que la industria de insecticidas de jabón de potasio crezca de 1.42 (miles de millones de dólares) en 2023 a 2.5 (miles de millones de dólares) para 2032. Se espera que la CAGR (tasa de crecimiento) del mercado sea de alrededor del 6.52% durante el período previsto (2024 - 2032). Este crecimiento se atribuye al aumento de la agricultura orgánica y la demanda de soluciones sostenibles para el control de plagas, (MRFR, 2022).

Tabla 01. Descripción del mercado mundial de insecticidas de jabón potásico

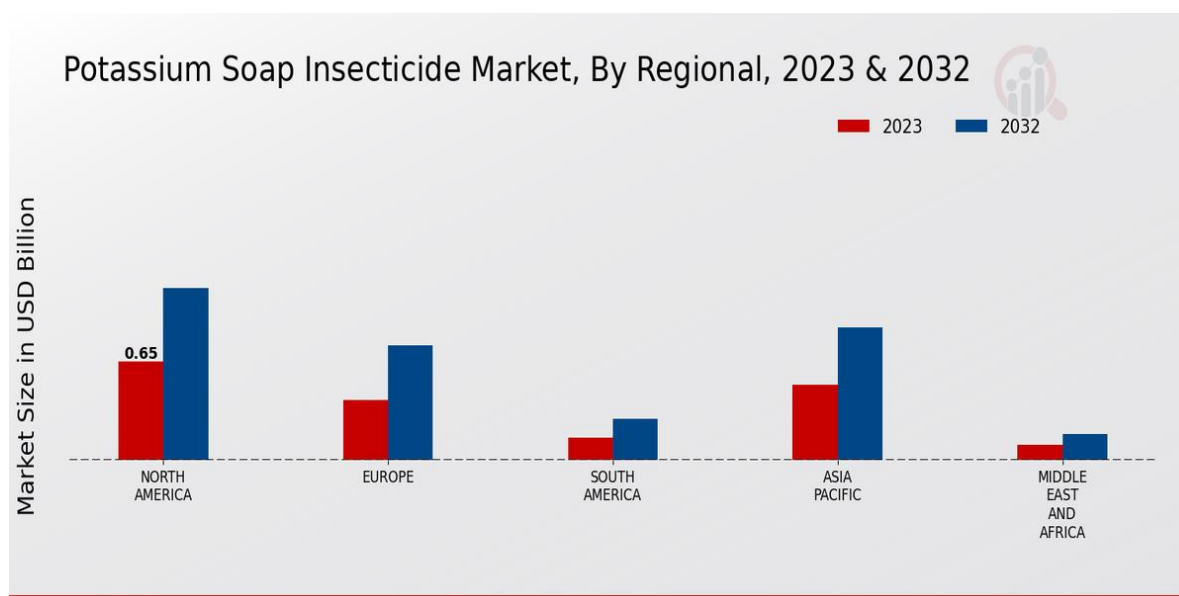
Fuente: investigaciones, base de datos MRFR y revisión de analistas. (Market Research Futere)

La segmentación del mercado de insecticidas de jabón de potasio por aplicación comprende agricultura, horticultura, jardinería doméstica e industria. Entre ellos, la agricultura tiene la mayor cuota de mercado.

Tabla 02. Información sobre el segmento de mercado

Fuente: investigaciones, base de datos MRFR y revisión de analistas. (Market Research Futere)

El mercado de insecticidas de jabón potasio está segmentado en América del Norte, Europa, Asia-Pacífico, América del Sur, Oriente Medio y África. Entre estas regiones, América del Norte ocupó la mayor cuota de mercado en 2023, debido a la creciente demanda de insecticidas orgánicos y naturales de la región.

Tabla 03. Perspectivas regionales del mercado de insecticidas de jabón potásico

Fuente: investigaciones, base de datos MRFR y revisión de analistas. (Market Research Futere)

En América Latina, la producción de jabón potásico está en crecimiento, impulsada por la expansión de la agricultura orgánica. Países como Brasil y Colombia han incrementado su capacidad de producción para satisfacer la demanda interna y regional de insumos agrícolas sostenibles. El mercado de insecticidas a base de jabón potásico en América Latina generó ingresos de USD 850 mil en 2022 y se espera que alcance USD 1,66 millones en 2030, con una CAGR del 8,7% durante el período 2023-2030. La horticultura representa el segmento de aplicación más significativo en la región.

En Bolivia, la producción de jabón potásico es limitada y se concentra principalmente en pequeñas industrias. Sin embargo, existe un potencial significativo para su desarrollo, especialmente considerando la creciente demanda de productos agrícolas sostenibles. Bolivia importó aproximadamente 12 mil toneladas de insecticidas en 2022, con un valor de USD 110 millones, lo que representa un aumento del 34% en volumen y del 81,6% en valor en comparación con 2020. Este incremento indica una dependencia significativa de productos químicos importados y subraya la necesidad de alternativas locales y ecológicas.

A nivel mundial, el mercado de insecticidas de jabón potásico ha experimentado un crecimiento significativo, impulsado por la creciente demanda de soluciones agrícolas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, especialmente en sectores como la agricultura orgánica. Empresas líderes como Bonide Products LLC en EE. UU., Certis USA LLC, Kao Corporation en

Japón y SPAA Srl en Italia, entre otras, se han consolidado como productores clave de insecticidas a base de jabón potásico, ofreciendo productos que destacan por su biodegradabilidad y su eficacia contra plagas de cuerpo blando, como pulgones y ácaros. Estas compañías han logrado posicionarse en mercados regionales, como América del Norte y Europa, gracias a la fuerte demanda de alternativas ecológicas frente a los pesticidas químicos sintéticos, cuyas consecuencias negativas para la salud humana y el medio ambiente son ampliamente reconocidas, (Market Research Future, 2022).

Se espera que la creciente demanda de soluciones de control de plagas orgánicas y ecológicas, junto con el aumento de la productividad agrícola, impulsen el crecimiento del mercado. En 2023, la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) enfatizó la necesidad de prácticas sostenibles de manejo de plagas, incluido el uso de insecticidas con jabón potásico.

Varias iniciativas y regulaciones gubernamentales están promoviendo la adopción de prácticas de agricultura orgánica, creando oportunidades para los insecticidas de jabón potásico. Los principales actores de la industria están invirtiendo en investigación y desarrollo para mejorar la eficacia y los métodos de aplicación de los insecticidas de jabón potásico.

Factores de crecimiento del mercado

El crecimiento del mercado de insecticidas está impulsado por la creciente demanda de alimentos a nivel global, dado que el incremento poblacional exige mayor productividad agrícola para garantizar la seguridad alimentaria (Siddhi J., 2025). Asimismo, la adopción de estrategias de manejo integrado de plagas (MIP) está acelerando la expansión del sector, pues este enfoque promueve la combinación de métodos y no la dependencia exclusiva de productos químicos para un control más sostenible y eficiente (Pranjal Mathur, 2024).

En línea con ello, la demanda de insecticidas ecológicos y eficientes que se alinean con el MIP ha aumentado, favoreciendo productos biodegradables y menos tóxicos (Raushan Karn & Eswara Prasad, 2022).

Segmento de empresas en el mercado de insecticidas

El mercado de insecticidas de jabón potásico es altamente competitivo y está dominado por varias empresas clave que ofrecen soluciones ecológicas para el control de plagas. Estas empresas, muchas de ellas líderes en biotecnología agrícola y productos químicos biológicos, están a la vanguardia en el desarrollo de insecticidas naturales que cumplen con los crecientes requisitos de sostenibilidad y seguridad ambiental. Estas compañías operan a nivel global, proporcionando

productos innovadores que apoyan la agricultura ecológica y la reducción del uso de pesticidas sintéticos. Empresas como Marrone Bio Innovations, Inc. y Syngenta Crop Protection AG, entre otras, son actores clave en este mercado, promoviendo tecnologías más limpias y sostenibles para los agricultores (Grand View Research, 2022).

Cuadro I. Empresas Clave en el Mercado de Insecticidas de Jabón Potásico

Empresa	País de Origen
Marrone Bio Innovations, Inc.	Estados Unidos
J.R. Simplot Company	Estados Unidos
Syngenta Crop Protection AG	Suiza
Isagro S.p.A.	Italia
Corporación Vestaron	Estados Unidos
Agrosan Chemicals India Limited	India
Certis Biologicals LLC	Estados Unidos
Koppert Biological Systems	Países Bajos
FMC Corporation	Estados Unidos
Industrias de Agroquímicos Co., Ltd.	China
SBM Life Science Corp.	Francia
Nature's Way Brands, LLC	Estados Unidos
Valent U.S.A. LLC	Estados Unidos

Fuente: Grand View Research Inc. (2022).

Segmento de Envases en el Mercado de Insecticidas de Jabón Potásico

El tipo de embalaje juega un papel crucial en la distribución y comercialización de insecticidas, incluidos los de jabón potásico, ya que influye directamente en la facilidad de aplicación, almacenamiento y costos operativos. El mercado de insecticidas de jabón potásico se divide en tres categorías principales de envases: concentrado líquido, polvo y gránulos. Cada uno de estos tipos de envases presenta ventajas particulares que impulsan su demanda en diversas regiones del mundo.

Cuadro II. Segmentos de envases de insecticidas

Tipo de Envase	Cuota Mercado (2023)	Características y Ventajas
-----------------------	-----------------------------	-----------------------------------

Concentrado Líquido	45%	- Dominante en el mercado por su facilidad de aplicación. - Alta eficacia y distribución uniforme en los cultivos. - Facilita una aplicación precisa y controlada. - Rápida absorción por las plantas, lo que mejora la eficiencia del insecticida. - Mayor compatibilidad con sistemas de aplicación automatizados.
Polvo	30%	- Más rentable debido a sus menores costos de procesamiento. - Mayor vida útil gracias a su estabilidad a largo plazo. - Eficaz para plagas como ácaros y moscas blancas. - Fácil almacenamiento a largo plazo sin perder eficacia. - Menor riesgo de contaminación en ambientes de almacenamiento.
Gránulos	25%	- Fácil de manipular en grandes explotaciones agrícolas. - Liberación controlada reduce la frecuencia de aplicación. - Popular en regiones de alta escala agrícola. - Menor riesgo de derrames, lo que mejora la seguridad durante su manipulación.

Fuente: Grand View Research (2022).

A partir de la identificación de los residuos de jabón potásico generados en la planta YPFB El Portillo y su potencial reutilización como materia prima para un insecticida ecológico, se plantea la necesidad de desarrollar una solución innovadora que beneficie a los agricultores locales, alineándose con las tendencias de agricultura sostenible y la reducción de plaguicidas sintéticos. En este contexto, los siguientes objetivos buscan guiar la formulación y aplicación del insecticida, asegurando su viabilidad económica, ambiental y social, a la vez que se promueve el uso de tecnologías más limpias y accesibles para la producción agrícola en Bolivia.

OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICO

Objetivo general

- Elaborar un insecticida líquido ecológico a partir de la solución jabonosa residual (mezcla de agua y jabón potásico) generada en la planta de envasado de GLP YPFB El Portillo,

mediante su concentración y modificación con insumos químicos y naturales, con el fin de valorizar este subproducto industrial y desarrollar una alternativa sostenible y eficaz frente al uso de insecticidas químicos convencionales en la agricultura.

Objetivos específicos

- Caracterizar fisicoquímicamente la solución jabonosa residual como materia prima.
- Identificar y seleccionar el proceso más adecuado para aplicar insumos químicos y naturales adecuados para la concentración y modificación de la solución jabonosa, con el fin de mejorar sus propiedades insecticidas.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas y la estabilidad del producto final.
- Evaluar el rendimiento del proceso de producción y su viabilidad técnica a escala laboratorio.
- Efectuar un análisis de los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto.

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Justificación tecnológica

El proyecto propone aplicar tecnologías conocidas y de bajo costo, como la filtración, tratamiento y reformulación de jabón potásico, lo que no requiere infraestructura compleja ni procesos altamente sofisticados. La innovación tecnológica radica en el reaprovechamiento de un residuo industrial específico, lo que permite transferir conocimiento y generar valor agregado mediante procesos sostenibles basado en la reutilización del jabón potásico residual como materia prima para la elaboración de un insecticida líquido.

El proceso de **reformulación del jabón potásico residual** parte de un insumo que ha sido previamente utilizado como lubricante para cadenas industriales. Este residuo aún contiene compuestos activos con propiedades detergentes, saponificantes y repelentes, que pueden ser aprovechados con un tratamiento adecuado.

Además, el desarrollo tecnológico contribuirá al fortalecimiento de capacidades locales en el tratamiento de residuos, así como en la producción de insumos agrícolas ecológicos, con posibilidades de ampliación o adaptación a otras industrias.

Justificación económica

Desde el punto de vista económico, el proyecto propone un modelo de producción de bajo costo, utilizando materia prima residual ya disponible en la planta industrial. Esto reduce considerablemente los gastos en insumos y mejora el costo-beneficio del producto final.

Además, el insecticida puede posicionarse en un mercado en crecimiento, donde consumidores agrícolas buscan productos menos agresivos y más respetuosos con el medio ambiente. El desarrollo de esta tecnología local puede significar una fuente de ingresos para productores, microempresas, y generar nuevas oportunidades de empleo.

Justificación social

El uso de agroquímicos está asociado a efectos adversos para la salud de agricultores y consumidores, como enfermedades crónicas, intoxicaciones y alteraciones endocrinas. Este proyecto, al promover un insecticida ecológico, reduce riesgos para la salud pública y mejora la calidad de vida de las comunidades rurales.

Además, al fomentar el uso de productos sostenibles en la agricultura, se contribuye a la seguridad alimentaria y al empoderamiento de pequeños productores. El desarrollo de capacidades técnicas en el tratamiento de residuos y elaboración de productos naturales también promueve la participación comunitaria y el desarrollo local.

Justificación ambiental

La producción y uso de insecticidas químicos ha provocado la degradación de suelos, contaminación de fuentes de agua y pérdida de biodiversidad. Este proyecto contribuye a la reducción del impacto ambiental, promoviendo un producto biodegradable, no tóxico y no contaminante.

Durante la elaboración del insecticida líquido a partir de jabón potásico residual, se generarán algunos subproductos o residuos secundarios, como restos de materia vegetal (si se utilizan extractos botánicos), residuos sólidos, envases de insumos utilizados, entre otros. Para evitar que estos residuos contravengan los principios ambientales del proyecto, se plantea una gestión adecuada de los mismos basada en principios de sostenibilidad y economía circular. Se propone:

- ❖ Separar y clasificar los residuos generados (orgánicos, líquidos, reciclables y no reciclables).
- ❖ Reutilizar o valorizar los residuos orgánicos mediante compostaje y aprovechamiento como abono.
- ❖ Reciclar los materiales aprovechables, como envases limpios y papeles.

- ❖ Disponer adecuadamente los residuos no reutilizables, siguiendo normativas ambientales.
- ❖ Registrar y evaluar periódicamente la cantidad y tipo de residuos generados.

Asimismo, la valorización del jabón residual evita que este desecho sea vertido o eliminado de forma inapropiada, disminuyendo la carga contaminante generada por la industria.

Justificación personal

Desde una perspectiva personal, este proyecto representa una oportunidad para contribuir activamente a la solución de problemas reales en el contexto boliviano, como la contaminación industrial y el uso irresponsable de agroquímicos. Como estudiante e investigador, este trabajo me permite aplicar conocimientos adquiridos en química, ingeniería de procesos y gestión ambiental, con un enfoque aplicado y de beneficio colectivo.

Además, la posibilidad de generar un producto útil para la agricultura local y sostenible refuerza mi compromiso con la ciencia al servicio de la sociedad. Este proyecto es viable, innovador y coherente con los desafíos actuales del país en materia ambiental y productiva, lo que lo hace significativo tanto a nivel académico como personal.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. INTRODUCCIÓN

El control de plagas constituye una de las actividades más importantes en la producción agrícola moderna, ya que las infestaciones de insectos representan una amenaza significativa para el rendimiento y la calidad de los cultivos. Tradicionalmente, el manejo de plagas se ha basado en el uso intensivo de insecticidas sintéticos, los cuales, aunque efectivos a corto plazo, generan múltiples efectos adversos sobre la salud humana, el medio ambiente y la biodiversidad. El desarrollo de resistencia en las poblaciones de insectos, la contaminación del suelo y del agua, así como la acumulación de compuestos tóxicos en la cadena alimentaria, son algunas de las consecuencias más críticas de su uso indiscriminado (Pimentel, 2005).

1.1 Jabón potásico

El jabón potásico es un compuesto químico obtenido mediante la reacción de grasas vegetales con hidróxido de potasio (KOH), un proceso conocido como saponificación. A diferencia del jabón sódico, el jabón potásico es líquido y se caracteriza por su capacidad para disolver grasas y aceites, lo que lo convierte en un excelente limpiador y, en concentraciones adecuadas, en un efectivo insecticida ecológico.

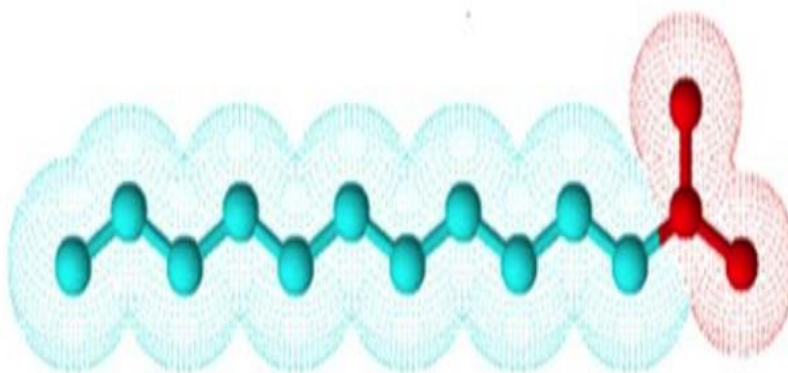
En la agricultura, el jabón potásico se utiliza principalmente para el control de plagas de insectos de cuerpo blando, como pulgones, cochinillas, araña roja y mosca blanca. Su mecanismo de acción consiste en la disolución de la cutícula lipídica que recubre el exoesqueleto de los insectos, provocando su deshidratación y muerte sin afectar negativamente a la planta ni a otros organismos benéficos.

La fabricación del jabón potásico se realiza mediante un proceso de saponificación que implica la reacción de un aceite vegetal, generalmente de oliva, coco o maíz, con una base alcalina, como el hidróxido de potasio (KOH). El procedimiento consiste en calentar el aceite a una temperatura controlada, disolviendo el hidróxido de potasio en agua, lo que provoca la ruptura de los triglicéridos en el aceite, liberando ácidos grasos y formando la sal potásica de estos ácidos. Esta mezcla se deja reposar para que la saponificación se complete, produciendo una mezcla que se separa en jabón y glicerina. La sustancia resultante se filtra y se diluye para obtener la concentración deseada. En términos prácticos, el jabón potásico se utiliza en concentraciones que oscilan entre 10-15% de sales potásicas, lo que le da la propiedad de ser soluble en agua y fácil de aplicar en pulverizaciones sobre plantas o superficies (Martínez et al., 2019).

Su principal diferencia frente a otros jabones radica en que, por contener potasio en lugar de sodio, presenta una consistencia más fluida, una mayor solubilidad en agua y una acción más suave sobre las superficies y los tejidos vegetales, lo que lo convierte en una opción adecuada para la limpieza de hojas y el control ecológico de plagas de cutícula blanda (García y López, 2017).

La estructura molecular del jabón incluye una **cabeza polar hidrofílica**, que tiene afinidad por el agua, y una **cola lipofílica**, que tiene afinidad por las sustancias grasas o aceitosas. Esta estructura es la que permite a los jabones actuar como agentes tensioactivos: la cabeza polar se une a las moléculas de agua, mientras que la cola lipofílica se adhiere a las grasas, facilitando su eliminación de superficies o la disolución en agua. **Su estructura molecular se muestra en la Figura 1-01.**

Figura I-01. Estructura de la molécula del jabón.



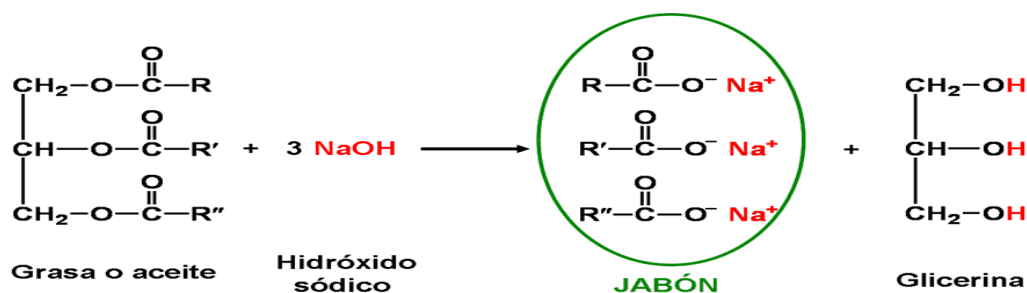
Fuente: López y Ramírez, Fundamentos de la química orgánica aplicada, 2021.

1.1.1 Proceso de fabricación de jabón

1.1.1.1 Saponificación

La saponificación es una reacción química en la que un **triacilglicerol** (grasa o aceite) reacciona con una **base alcalina** (como hidróxido de sodio o potasio) para formar **glicerina** y **sales de ácidos grasos**, que son los **jabones**. En esta reacción, el **hidróxido de potasio (KOH)** o **hidróxido de sodio (NaOH)** rompe los enlaces éster de los triglicéridos, liberando los ácidos grasos que se combinan con el potasio o sodio, formando el jabón; como se muestra en la figura 2.

Figura I-02. Reacción de saponificación

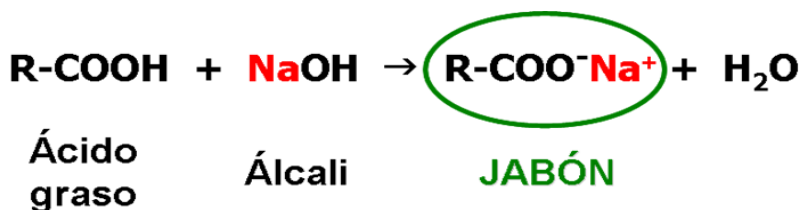


Fuente: González y López, Química orgánica y procesos industriales, 2020.

1.1.2 Neutralización

La neutralización es una reacción ácido-base en la que un ácido reacciona con una base para formar agua y sal. En el contexto de la fabricación de jabón, cuando se usa hidróxido de potasio (KOH) o hidróxido de sodio (NaOH) como base para la saponificación, los ácidos grasos liberados reaccionan con la base, produciendo una sal potásica o sódica de ácido graso (jabón) y agua como subproducto. Esta reacción es fundamental para la creación del jabón, donde el ácido graso se combina con el ion de potasio o sodio para formar la estructura final del producto.

Figura I-03. Neutralización de ácidos grasos con álcali



Fuente: Martínez y Rodríguez, Química aplicada a la industria de productos naturales, 2018.

1.2 Insecticida

Un insecticida es una sustancia química, biológica o natural utilizada para matar o controlar insectos en sus diversas etapas de desarrollo (huevo, larva, adulto). Su aplicación es común en agricultura, salud pública y el hogar, con el objetivo de proteger cultivos, prevenir enfermedades transmitidas por vectores y mantener la higiene ambiental.

Estos productos actúan sobre los insectos mediante diversos mecanismos, como la alteración de su sistema nervioso, inhibición de su crecimiento o interferencia con procesos vitales como la reproducción. Los insecticidas pueden ser sintéticos o naturales, y su acción puede ser por contacto, ingestión o fumosidad. Los insecticidas químicos incluyen compuestos como

organofosforados, carbamatos y piretroides, mientras que los ecológicos o biológicos se derivan de microorganismos como bacterias o extractos vegetales (Sánchez et al., 2019)

1.2.1 Clasificación de los insecticidas

1.2.1.1 Insecticida químico

Un insecticida químico es un compuesto sintético diseñado específicamente para eliminar o controlar insectos plaga a través de mecanismos bioquímicos que afectan su sistema nervioso, metabolismo o crecimiento. Estos insecticidas son generalmente fabricados a partir de sustancias químicas artificiales, como organofosforados, piretroides, neonicotinoides y carbamatos, que actúan por contacto, ingestión o fumosidad.

Los insecticidas químicos son conocidos por su alta efectividad y rapidez en el control de plagas, pero a menudo presentan riesgos ambientales y para la salud humana, ya que pueden ser tóxicos para organismos no objetivo, como insectos benéficos (por ejemplo, abejas), y pueden contribuir a resistencia en las plagas con el tiempo. Además, su uso excesivo puede generar daños ecológicos a largo plazo, alterando los ecosistemas y contaminando el medio ambiente (López, F., 2018).

1.2.1.2 Insecticida biológico

Un insecticida biológico o natural es un producto derivado de fuentes naturales, como plantas, microorganismos (bacterias, hongos, virus) o minerales, que se utiliza para controlar insectos plaga sin recurrir a productos químicos sintéticos.

Estos insecticidas funcionan mediante mecanismos físicos o biológicos, como el control biológico mediante depredadores naturales, parásitos, patógenos o sustancias de origen vegetal como aceites esenciales o extractos (por ejemplo, el aceite de neem o el extracto de piretro). Los insecticidas biológicos son generalmente más seguros para el medio ambiente y para organismos no objetivo, como los insectos beneficiosos, debido a que son menos tóxicos y más específicos en su acción. A pesar de sus ventajas ecológicas, los insecticidas biológicos pueden tener una acción más lenta en comparación con los químicos y requieren aplicaciones más frecuentes para mantener su efectividad (Sánchez et al., 2020).

1.2.2 Mecanismos de acción

El modo de acción de un insecticida depende de su naturaleza. Los productos sintéticos suelen actuar a nivel del sistema nervioso central de los insectos, inhibiendo enzimas o bloqueando

canales iónicos. En cambio, los jabones potásicos y extractos vegetales ejercen su acción mediante mecanismos físicos y químicos menos agresivos:

- ❖ **Destrucción de la cutícula:** los tensoactivos del jabón disuelven las ceras protectoras de la superficie del insecto, causando pérdida de agua y deshidratación.
- ❖ **Interferencia respiratoria:** algunos aceites esenciales bloquean los espiráculos o afectan la oxigenación.
- ❖ **Efecto repelente o neurotóxico leve:** compuestos como el linalol o el timol alteran la comunicación química entre individuos o interfieren con los receptores neuronales.

1.2.3 Composición y propiedades del insecticida

En el contexto de la recuperación de residuos industriales, el uso del jabón potásico residual, como en el caso de la planta de envasado de GLP YPF El Portillo, abre una nueva vía para desarrollar insecticidas ecológicos basados en productos de origen natural. La composición y las propiedades físico-químicas del jabón potásico son factores clave para su efectividad y seguridad en aplicaciones agrícolas.

A continuación, se presenta la tabla I-01 que resume las características principales de este insecticida ecológico, con sus valores estándar y rangos de propiedades y parámetros relevantes para su formulación y uso.

Tabla I-01. Composición y propiedades del insecticida a base de jabón potásico.

Categoría	Propiedad / Parámetro	Valor Estándar / Rango	Descripción / Relevancia
Composición	Ácidos grasos (sales potásicas)	10% – 20%	Principio activo, responsable del efecto insecticida
	Agua	40% – 60%	Medio de disolución
	Potasio (K ⁺)	1,5% – 4%	Presente como ion libre, influencia el pH
	Trazas de compuestos orgánicos	< 2%	Derivados del aceite vegetal base

Físico-químicas	Estado físico	Líquido viscoso	Aplicación directa por aspersión
	Color	Amarillo a marrón claro	Varía según origen del residuo
	Olor	Levemente jabonoso	Inodoro a poco perceptible
	pH (solución al 10%)	9,5 – 11	Influye en estabilidad y acción insecticida
	Densidad	1,01 – 1,05 g/cm ³	Densidad ajustada según formulación
	Viscosidad	300 – 900 mPa·s	A mayor viscosidad, mayor adherencia a la hoja
	Conductividad eléctrica	25 – 35 mS/cm	Relacionada con el contenido iónico
	Solubilidad en agua	Total	Fundamental para aplicaciones foliares
Toxicidad / Bioseguridad	Toxicidad aguda oral en ratas (LD50)	> 5,000 mg/kg	No tóxico para humanos en dosis comunes
	Toxicidad para abejas	No significativa	No afecta a insectos benéficos (si se aplica en la mañana o al atardecer)
	Biodegradabilidad	> 90% en 28 días	Altamente biodegradable
Propiedades insecticidas	Mecanismo de acción	Contacto – deshidrata la cutícula del insecto	Mata insectos de cuerpo blando como pulgones, cochinillas, araña roja

	Espectro de acción	Insectos de cuerpo blando	No afecta a insectos con exoesqueleto duro o larvas de lepidópteros
	Persistencia en hojas	24–48 h	Requiere reaplicación frecuente, no deja residuos permanentes
Requisitos técnicos	Concentración de uso	1% – 5%	Dilución en agua, dependiendo del nivel de infestación
	Compatibilidad con otros productos	Compatible con extractos vegetales y micronutrientes	Puede usarse junto con otros bioinsumos

Fuente: Ficha técnica jabón potásico insecticida. www.spaa.it

1.2.4 Potenciadores de acción insecticida

Los potenciadores de acción insecticida son sustancias o combinaciones de productos que se utilizan para mejorar la eficacia de un insecticida, ya sea natural o sintético. Estos compuestos actúan modificando el comportamiento de la plaga, aumentando la penetración del insecticida a través de las membranas celulares o incrementando la toxicidad de los ingredientes activos.

Los potenciadores pueden incluir extractos vegetales o aditivos que facilitan la adherencia del insecticida a las superficies foliares y mejoran su efectividad al actuar como coadyuvantes. Estos potenciadores son particularmente importantes en la agricultura ecológica, ya que permiten optimizar el uso de productos naturales sin recurrir a sustancias químicas agresivas (González, J., y Martínez, L., 2018)

1.2.4.1 Acción sinérgica entre componentes

La combinación con extractos vegetales de ajo y orégano potencia la actividad insecticida, demostrando una acción sinérgica que mejora el control de plagas (Patel et al., 2015). Esta sinergia se debe a la mejora en la penetración de los compuestos bioactivos en los insectos.

La siguiente tabla resume algunos de los insumos potenciadores más comunes y sus respectivas funciones y formas de uso.

Tabla I-02. Insumos potenciadores para el insecticida

Insumo	Función	Forma de uso
Extracto de tabaco (<i>Nicotiana tabacum</i>)	Contiene nicotina, un potente insecticida natural.	Macerado o de cocción diluida.
Azúcar sintética (dextrosa)	Atrae insectos (efecto cebo), puede combinarse con otras toxinas naturales.	Disuelta en agua o mezclada en la formulación.
Aceite de neem (<i>Azadirachta indica</i>)	Insecticida, repelente y regulador del crecimiento.	Agregado en dosis bajas con emulsionantes.
Ajo o ají (<i>Capsicum</i> spp.)	Efecto repelente y bactericida.	Macerado o extracto alcohólico.
Aceite esencial de citronela o eucalipto	Acción repelente y aromática.	Agregado con agitación y emulsionante.
Extracto de orégano (<i>Origanum vulgare</i>)	Contiene carvacrol y timol, compuestos que actúan como repelentes e insecticidas al interferir con el sistema nervioso de los insectos.	Macerado, extracto alcohólico o en forma de aceite esencial.
Aceite esencial de lavanda (<i>Lavandula officinalis</i>)	Compuestos como el linalol y el acetato de linalilo poseen efectos neurotóxicos y repelentes para insectos.	Agregado en la formulación líquida o en su forma de aceite esencial.

Fuente: Gómez, F., & Torres, A. (2020). Insumos naturales para la mejora de la acción insecticida en la agricultura ecológica. Editorial Agroecológica.

1.2.5 Insumos para impermeabilización y mejora del insecticida

Los insumos impermeabilizantes son aditivos utilizados en la formulación de insecticidas, especialmente en productos ecológicos, que tienen como principal objetivo mejorar la adherencia del producto a las superficies foliares y aumentar la resistencia al lavado por lluvia. Estos compuestos actúan creando una capa protectora que conserva la eficacia del insecticida durante más tiempo, especialmente en condiciones de alta humedad o lluvias frecuentes.

Los insumos impermeabilizantes incluyen emulsionantes, espesantes y aceites naturales que ayudan a estabilizar la mezcla, facilitando la combinación de fases acuosa y oleosa, y mejorando

la distribución uniforme del insecticida sobre las plantas. Estos ingredientes son fundamentales en la agricultura ecológica porque permiten utilizar productos naturales sin comprometer su efectividad ni recurrir a sustancias químicas sintéticas (Fernández y Herrera, 2020)

A continuación, se presenta la tabla que resume algunos de los insumos impermeabilizantes más comunes y sus funciones dentro de la formulación de insecticidas ecológicos.

Tabla I-03. Insumos impermeabilizantes para el insecticida

Insumo	Función	Forma de uso
Cera de abejas (emulsificada)	Mejora la resistencia al agua y adhesión en hojas o superficies.	Fundida e incorporada con emulsionantes.
Goma arábiga o xantana	Actúa como estabilizante y espesante natural.	Disuelta previamente y añadida al producto.
Lecitina de soya	Emulsionante natural que mejora mezcla entre fases acuosa y oleosa.	En pequeñas dosis con agitación constante.
Arcilla bentonita o caolín	Mejora adhesión en superficie vegetal y reduce lavados por lluvia.	Suspendida en agua y añadida como carga inerte.
Glicerina (glicerol)	Humectante que mejora la adhesión y retención de humedad, favoreciendo la estabilidad del insecticida.	Agregada en pequeñas dosis, generalmente al final de la formulación.

Fuente: Fernández, R., & Herrera, M. (2020). Insumos naturales para la mejora de propiedades físico-químicas en insecticidas ecológicos. Editorial Agroverde.

Estos insumos actúan como coadyuvantes de formulación, mejorando propiedades fisicoquímicas como la estabilidad de emulsión, viscosidad, adhesión foliar y resistencia al lavado.

1.2.5.1 Propiedades esperadas

Las propiedades esperadas del insecticida a base de jabón potásico se enfocan en su capacidad para actuar como un producto de contacto, su biodegradabilidad y su compatibilidad con otros extractos vegetales que aumenten su efectividad. Además, su persistencia en las plantas es clave para un control prolongado de plagas. A continuación, se describen las propiedades esperadas basadas en su formulación y aplicación.

Tabla I-04. Propiedades esperadas del insecticida a base de jabón potásico

Propiedad	Descripción
Estado físico	Líquido
pH	9-11
Solubilidad	Total en agua
Biodegradabilidad	>90% en 28 días (OECD 301F)
Acción	Por contacto, deshidrata insectos de cuerpo blando
Persistencia	24–48 horas en la hoja
Compatible con extractos vegetales	Compatible con extractos como orégano, ajo, etc.

Fuente: FAO (2021), Rodríguez et al. (2021).

1.3 Características y beneficios de un insecticida

1.3.1 Características de un Buen Insecticida

Un buen insecticida debe tener una serie de características que aseguren su eficacia, seguridad y compatibilidad con el medio ambiente. Entre las principales características se encuentran:

- **Eficiencia en el control de plagas:** Un buen insecticida debe ser potente y actuar de manera rápida y eficaz contra los insectos, especialmente los de cuerpo blando, como pulgones, moscas blancas o cochinillas.
- **Baja toxicidad para organismos no objetivo:** El insecticida debe ser seguro para seres humanos, animales benéficos (como abejas y aves) y microorganismos del suelo, especialmente si se utiliza en la agricultura ecológica.
- **Biodegradabilidad:** Un buen insecticida debe ser biodegradable en poco tiempo, lo que garantiza que no persistirá en el medio ambiente, evitando la contaminación de suelos y aguas.
- **Persistencia adecuada:** Debe permanecer activo el tiempo suficiente para controlar las plagas, pero no demasiado como para dañar la planta o los ecosistemas circundantes. La persistencia varía dependiendo de la formulación y la aplicación.
- **Compatibilidad con otros productos:** Un buen insecticida debe ser compatible con otros productos de control biológico o químicos suaves que se utilicen en el manejo integrado de plagas (MIP), como extractos vegetales o productos orgánicos.

- **Facilidad de aplicación:** El insecticida debe tener una buena solubilidad en agua, lo que facilita su aplicación foliar sin obstruir los equipos de pulverización.

Estas características aseguran que el insecticida sea eficaz, ecológico y sostenible para su uso a largo plazo, manteniendo la salud del ecosistema agrícola (Fernández y Gómez, 2021)

A continuación, se presenta la tabla I-05 en donde se muestran las características clave que debe tener un buen insecticida, destacando los aspectos más relevantes que aseguran su eficacia, seguridad y compatibilidad en aplicaciones agrícolas, especialmente en sistemas de agricultura ecológica.

Tabla I-05. Características de un Buen Insecticida

Características	Descripción
Eficiencia en el control de plagas	El insecticida debe ser eficaz contra insectos de cuerpo blando, como pulgones y cochinillas.
Baja toxicidad para organismos no objetivo	Debe ser seguro para seres humanos, animales benéficos y el medio ambiente.
Biodegradabilidad	Debe descomponerse rápidamente en el medio ambiente sin dejar residuos tóxicos.
Persistencia adecuada	Mantenerse activo el tiempo necesario para controlar plagas, sin perjudicar las plantas.
Compatibilidad con otros productos	Compatible con extractos vegetales y productos biológicos.
Facilidad de aplicación	Buena solubilidad en agua para facilitar su uso y aplicación directa.

Fuente: Fernández, R., & Gómez, L. (2021). Características y efectos de los insecticidas naturales en la agricultura ecológica. Editorial Agroverde.

1.3.2 Beneficios

Un buen insecticida debe aportar una serie de beneficios no solo en el control efectivo de plagas, sino también en la sostenibilidad ambiental y la seguridad para los seres humanos, animales y el entorno en general.

Los beneficios de un buen insecticida incluyen su capacidad para mantener la salud de los cultivos al eliminar las plagas de manera eficiente, al mismo tiempo que minimiza el impacto negativo sobre la fauna benéfica y el ecosistema agrícola. Además, debe ser biodegradable para evitar la

contaminación del suelo y el agua, y tener una baja toxicidad que no afecte a los organismos no objetivo. Un insecticida con estas características también contribuye a la reducción de costos en el manejo de plagas y mejora la calidad del producto final, ofreciendo así una alternativa más sostenible frente a los pesticidas convencionales (Lozano y Pérez, 2020).

La tabla I-06, muestra los beneficios de un buen insecticida.

Tabla I-06. Beneficios de un Buen Insecticida

Beneficio	Descripción
Control eficiente de plagas	El insecticida elimina de manera efectiva plagas como pulgones, cochinillas y otros insectos de cuerpo blando.
Baja toxicidad para organismos no objetivo	No es tóxico para insectos benéficos, como abejas y otros polinizadores.
Biodegradabilidad	Se descompone rápidamente en el medio ambiente, evitando la acumulación de residuos tóxicos.
Compatibilidad con agricultura ecológica	Apto para sistemas de agricultura ecológica y de manejo integrado de plagas (MIP).
Mejora la calidad del producto final	Al controlar las plagas, mejora la salud de los cultivos, lo que aumenta la calidad y el rendimiento de los productos.
Reducción de costos	Menor necesidad de aplicaciones frecuentes, lo que reduce los costos de tratamiento.

Fuente: Lozano, A., & Pérez, M. (2020). Beneficios & características de insecticidas naturales en la agricultura ecológica. Editorial Agroverde.

1.3.3 Ventajas de emplear un insecticida

El uso de insecticidas ofrece múltiples ventajas en la protección de los cultivos contra plagas, asegurando la salud de las plantas y mejorando los rendimientos agrícolas. Uno de los principales beneficios es la eficacia en el control de insectos, especialmente aquellos que afectan la producción de los cultivos, como pulgones, cochinillas y moscas blancas. Además, los insecticidas permiten reducir pérdidas económicas causadas por daños en los cultivos, aumentando así la producción de alimentos.

Otra ventaja importante es la capacidad de los insecticidas para minimizar el uso de métodos agresivos o de difícil aplicación, como el control mecánico o manual. El empleo de insecticidas a partir de jabón potásico contribuye a una gestión sostenible de plagas, con un bajo impacto ambiental y mayor seguridad para los consumidores y trabajadores del campo (González & Ramírez, 2021).

En el cuadro I-07 se muestran las ventajas de emplear un insecticida.

Tabla I-07. Ventajas de emplear un insecticida

Ventaja	Descripción
Control eficiente de plagas	El insecticida elimina eficazmente insectos que afectan la salud de los cultivos, como pulgones y cochinillas.
Aumento de la productividad	Al reducir las pérdidas por plagas, se incrementa el rendimiento de los cultivos.
Reducción de costos	Menos necesidad de trabajo manual y control mecánico, lo que disminuye los costos operativos.
Método rápido y accesible	La aplicación de insecticidas es un proceso rápido y accesible para los productores, lo que permite resultados inmediatos.
Compatibilidad con métodos ecológicos	Los insecticidas naturales, son compatibles con la agricultura ecológica y el manejo integrado de plagas (MIP).
Seguridad para el medio ambiente	Los insecticidas a base de jabón potásico tienen un bajo impacto ambiental y no dejan residuos tóxicos, promoviendo un enfoque más sostenible.

Fuente: González, J., & Ramírez, A. (2021). Ventajas del uso de insecticidas naturales en la agricultura ecológica. Editorial Verde.

1.3.4 Principales Aplicaciones del Insecticida a Base de Jabón Potásico

El insecticida a base de jabón potásico tiene diversas aplicaciones en la agricultura, especialmente en el control de plagas en cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Este insecticida es altamente eficaz en la eliminación de insectos de cuerpo blando, como pulgones, cochinillas, ácaros y moscas blancas. Una de las principales ventajas del insecticida a base de jabón potásico es que no deja residuos tóxicos, lo que lo convierte en una opción ideal para agricultura ecológica y sistemas de

manejo integrado de plagas (MIP). Además, su compatibilidad con extractos vegetales como el aceite de neem o ajo lo convierte en una herramienta versátil dentro de la gestión sostenible de plagas. Otras aplicaciones incluyen el uso en cultivos de invernadero, donde el control de plagas es crucial debido a las condiciones cerradas, y en cultivos de alto valor como frutas y verduras orgánicas. El jabón potásico también se utiliza como limpiador foliar, eliminando residuos de melaza o residuos que favorecen el crecimiento de hongos secundarios como la fumagina (Gómez & Rodríguez, 2020).

Tabla I-08. Principales aplicaciones del insecticida a base de jabón potásico

Aplicación	Descripción
Control de insectos de cuerpo blando	El jabón potásico es eficaz contra insectos como pulgones, cochinillas, ácaros y moscas blancas.
Agricultura ecológica	Ideal para su uso en cultivos orgánicos debido a su bajo impacto ambiental y falta de residuos tóxicos.
Manejo integrado de plagas (MIP)	Compatible con otros tratamientos biológicos y naturales en sistemas de control integrado de plagas.
Invernaderos	Usado en cultivos protegidos donde el control eficiente de plagas es esencial.
Limpiador foliar	Elimina residuos de melaza y otros residuos orgánicos que favorecen hongos secundarios como la fumagina.
Cultivos de alto valor	Utilizado en frutas y verduras orgánicas para asegurar productos de alta calidad sin residuos tóxicos.

Fuente: Gómez, F., & Rodríguez, M. (2020). Aplicaciones & beneficios del jabón potásico en la agricultura ecológica. Editorial Agroverde.

1.4 Plagas a tratar con el insecticida

Los insecticidas a base de jabón potásico son particularmente efectivos contra insectos de cuerpo blando, debido a que su mecanismo de acción consiste en la disolución de la cutícula lipídica que recubre su exoesqueleto.

1.4.1 Plaga

Se denomina plaga a toda especie de organismo vivo (insectos, ácaros, hongos, bacterias o malezas) que, al multiplicarse descontroladamente, causa daños económicos, fisiológicos o estéticos a los cultivos agrícolas o plantas ornamentales. En el caso de los insectos plaga, estos se

alimentan principalmente de la savia, hojas, tallos, flores o frutos de las plantas, debilitándolas y reduciendo significativamente su capacidad productiva. Las plagas, además de causar pérdida directa de biomasa vegetal, pueden actuar como vectores de enfermedades virales, bacterianas o fúngicas, afectando de forma grave la calidad y rendimiento de los cultivos (Gómez & Vargas, 2020).

Figura I-04. Plagas más comunes



Fuente: Instituto de investigación & formación agraria y pesquera. Consejería de innovación, ciencia y empresa de consejería de agricultura y pesca.

El ataque de plagas altera el equilibrio fisiológico de la planta, provocando síntomas como amarillamiento de hojas, marchitez, deformaciones, caída prematura de flores y frutos, y en casos severos, la muerte total del cultivo. Por esta razón, el manejo adecuado de plagas es una práctica esencial dentro de la agricultura moderna, tanto en sistemas convencionales como ecológicos (Gómez & Vargas, 2020).

A continuación, se describen las principales plagas que pueden ser controladas mediante la aplicación del insecticida a base de jabón potásico, destacando su modo de acción y los cultivos donde su efecto es más eficaz.

1.4.1.1 Pulgones (*Aphididae*)

Los pulgones son insectos pequeños, generalmente de color verde, negro o amarillo, que se alimentan de la savia de las plantas, debilitándolas y transmitiendo virus. Los pulgones son muy comunes en cultivos como tomates, pimientos, pepinos y frutales. Son conocidos por su capacidad para multiplicarse rápidamente. Se encuentran comúnmente en la parte inferior de las hojas y en los brotes nuevos (González & Martínez, 2020).

Figura I-05. Pulgón



Fuente: Andorno A.V., Botto E.N., La Rossa F.R. & Möhle R.

1.4.1.1.1 Daño causado

Los pulgones debilitan las plantas al extraer su savia, lo que puede causar amarillamiento de las hojas, deformación de los brotes y reducción en el crecimiento. Además, secretan una sustancia pegajosa llamada melaza, que puede favorecer el desarrollo de hongos como la fumagina (González & Martínez, 2020).

Figura I-06. Daño causado por los pulgones



Fuente: ZeriMar Laboratoire.

1.4.1.2 Cochinillas (*Coccoidea*)

Las cochinillas son insectos chupadores de savia que se agrupan en los tallos y hojas de las plantas. Están recubiertos por una cera blanca o marrón, lo que dificulta su control. Son comunes en cultivos de cítricos, aguacates y plantas ornamentales (Fernández & López, 2020).

Figura I-07. Cochinilla



Fuente: JardinAgro

1.4.1.2.1 Daño causado

Las cochinillas debilitan la planta al alimentarse de su savia. Pueden causar caída prematura de hojas y deformaciones en los brotes. Además, al igual que los pulgones, producen melaza, lo que propicia el crecimiento de hongos secundarios como la fumagina (Fernández & López, 2020).

Figura I-08. Daño causado por las cochinillas



Fuente: JardinAgro

1.4.1.3 Araña roja (*Tetranychus urticae*)

La araña roja es un ácaro muy pequeño, de color rojo o verde, que se alimenta de las células vegetales de una amplia gama de plantas. Aunque no es un insecto, su daño es similar al de los insectos chupadores. Se encuentra comúnmente en cultivos de tomate, fresas y pimientos (Sánchez & Ramírez, 2021).

Figura I-09. Acaro o araña roja



Fuente: AgroSense Soluciones con sentido.

1.4.1.3.1 Daño causado

La araña roja provoca manchas amarillas en las hojas y debilita las plantas, reduciendo su capacidad fotosintética. Las plantas afectadas pueden mostrar caída prematura de hojas y enfermedades secundarias debido al debilitamiento general (Sánchez & Ramírez, 2021).

Figura I-10. Daño causado por las arañas rojas



Fuente: Cultivers.

1.4.1.4 Mosca blanca (*Bemisia tabaci*)

La mosca blanca es un insecto que se alimenta de la savia de las plantas, especialmente de tomates, pepinos y berenjenas. Las adultas son pequeñas, de color blanco, y se agrupan en los brotes de las plantas (Gómez & Vargas, 2020).

Figura I-11. Mosca blanca



Fuente: ENDOTerepia vegetal.

1.4.1.4.1 Daño causado

La mosca blanca no solo debilita a la planta al alimentarse de su savia, sino que también transmite virus y produce melaza, que favorece el crecimiento de hongos como la fumagina. Los daños visibles incluyen amarillamiento de las hojas y deformación de los brotes (Gómez & Vargas, 2020).

Figura I-12. Daño causado por la mosca blanca



Fuente: Equipo editorial cambiagro.

1.4.1.5 Trips (Thysanoptera)

Los trips son insectos minúsculos de cuerpo alargado y alas estrechas que se alimentan de las células vegetales de las hojas, flores y frutas. Se encuentran en muchos cultivos, especialmente en flores y frutas (López & Rodríguez, 2021).

Figura I-13. Trips



Fuente: ENDOTerepia vegetal.

1.4.1.5.1 Daño causado

Los trips causan manchas plateadas en las hojas, lo que interfiere con la capacidad fotosintética de la planta. Además, son conocidos por transmitir virus y causar deformación en las flores y frutos (López & Rodríguez, 2021).

Figura I-14. Daño causado por los trips



Fuente: Agrotrapiche servicios agrícolas

1.4.1.6 Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*)

El gusano cogollero es una plaga común en cultivos de maíz, arroz y algodón. Se trata de una oruga que se alimenta de los cogollos y las hojas de las plantas (Martínez & González, 2020).

Es una plaga polífaga que causa severas pérdidas si no se controla oportunamente. De acuerdo al comportamiento a campo y su importancia se encuentra en el grupo de las plagas constantes que pueden causar daños económicos anualmente porque está presente durante todo el ciclo de los cultivos.

Figura I-15. Gusano cogollero



Fuente: Grupo editorial cambiagro.

1.4.1.6.1 Daño causado

Las larvas de este insecto dañan principalmente los cogollos y las hojas, lo que retrasa el crecimiento y puede llevar a la muerte de la planta si la infestación es severa. También debilitan las plantas, afectando la producción de semillas y frutos (Martínez & González, 2020).

Figura I-16. Daño causado por el gusano cogollero



Fuente: Grupo editorial cambiagro.

1.5 Mecanismo de acción del insecticida formulado

1.5.1 Acción física: Destrucción de la cutícula insectil

El jabón potásico actúa como un tensoactivo que desintegra la cutícula lipídica de los insectos, lo que provoca deshidratación y la muerte de los insectos al interferir con la función de sus membranas celulares (Pimentel et al., 1992).

1.5.2 Acción química: Inhibición enzimática y neurotoxicidad

La acción neurotóxica de los extractos vegetales como el ajo, orégano y lavanda es bien conocida. Estos compuestos interfieren con el sistema nervioso de los insectos, provocando parálisis y muerte (Davidson et al., 2001).

1.5.3 Acción surfactante: reducción de la tensión superficial

El jabón potásico actúa como agente tensioactivo debido a su estructura molecular, que posee una cabeza hidrofílica y una cola lipofílica. Esta propiedad reduce la tensión superficial del agua, mejorando la dispersión del insecticida sobre las superficies vegetales y el cuerpo de los insectos. Al reducir la tensión superficial, el producto penetra más fácilmente en la cutícula del insecto y en los espiráculos, favoreciendo su deshidratación y asfixia. Este efecto surfactante aumenta la eficacia del insecticida, especialmente en insectos de cuerpo blando como pulgones y mosca blanca, optimizando el control en aplicaciones foliares (Cloyd, 2012).

1.6 Aplicación en manejo integrado de plagas (MIP)

1.6.1 Principios del Manejo Integrado de Plagas (MIP)

El Manejo Integrado de Plagas (MIP) es un enfoque agroecológico que combina diversas estrategias para el control de plagas, con el objetivo de mantener sus poblaciones por debajo de niveles que causen daño económico o ecológico. Según FAO (2014), los principios clave del MIP incluyen:

- ❖ **Monitoreo constante:** Para identificar plagas y evaluar su población.
- ❖ **Uso mínimo de pesticidas:** Se recurre a pesticidas solo cuando los métodos preventivos no son suficientes.
- ❖ **Métodos preventivos:** Estrategias como la rotación de cultivos, el uso de variedades resistentes y la alteración del hábitat de las plagas.
- ❖ **Control biológico:** Fomento de enemigos naturales de las plagas.
- ❖ **Control físico y mecánico:** Uso de barreras, trampas y otros métodos físicos.

1.6.2 Rol del insecticida ecológico en MIP

El insecticida ecológico basado en jabón potásico residual y extractos vegetales como el ajo, orégano y lavanda tiene varias ventajas dentro del MIP debido a su baja toxicidad para los organismos no objetivo y su biodegradabilidad. Estudios previos han demostrado que estos extractos vegetales son efectivos para el control de plagas, pero no presentan riesgos para la fauna beneficiosa ni para la salud humana.

- ❖ **Baja toxicidad para organismos no objetivo:** Davidson et al. (2001) demostraron que los extractos de ajo, orégano y lavanda tienen propiedades insecticidas que afectan principalmente a las plagas, pero son seguros para insectos beneficiosos como las abejas.

- ❖ **Biodegradabilidad:** El uso de componentes naturales asegura que el insecticida sea fácilmente degradado en el ambiente, lo que reduce los riesgos de contaminación del suelo y el agua. Según Lozano y Pérez (2020), los ingredientes naturales como el ajo y la lavanda son biodegradables y no dejan residuos tóxicos en los cultivos.

1.6.3 Aplicación de insecticida en MIP

1.6.3.1 Identificación de plagas objetivo

El primer paso en el MIP es identificar las plagas que afectan al cultivo. Los extractos de ajo, orégano y lavanda son efectivos contra una variedad de plagas comunes, como pulgones, mosca blanca, trips, chinches, y cochinillas. Patel et al. (2015) indican que el ajo y el orégano actúan como repelentes y como insecticidas, mientras que la lavanda tiene propiedades neurotóxicas que paralizan a las plagas.

1.6.3.2 Momento de aplicación

La aplicación debe hacerse en momentos en que las plagas estén en su fase más vulnerable, como en su estado larval o ninfal. Rodríguez et al. (2019) afirman que el uso de extractos vegetales es más efectivo cuando las plagas están en fases inmaduras, ya que estos compuestos tienen un impacto directo sobre su desarrollo.

1.6.4 Técnicas del MIP

El insecticida en combinación con otras técnicas puede optimizar su efectividad y sostenibilidad. Davidson et al. (2001) destacaron que los insecticidas naturales son altamente efectivos cuando se integran con métodos biológicos y culturales.

Este insecticida ecológico puede ser combinado con diversas técnicas del MIP para obtener un control más eficiente y duradero:

1.6.4.1 Trampas cromáticas

Se utilizan para atraer a las plagas hacia zonas específicas donde pueden ser atrapadas. Estas trampas ayudan a reducir la población de insectos sin necesidad de recurrir a pesticidas sintéticos. Según SENASAG (2022), las trampas cromáticas son una herramienta útil en el control de plagas en combinación con insecticidas naturales.

Figura I-17. Tipos de trampas cromáticas



Fuente: Allende C., M. (2020) Trampas cromáticas como apoyo al Manejo Integrado de Plagas.

1.6.4.2 Control biológico (liberación de depredadores)

La liberación de insectos beneficiosos (como mariquitas o avispas parasitoides) puede complementar la acción del insecticida ecológico, ayudando a reducir las plagas de manera natural. Blas Angulo & Castro (2020) confirmaron que la combinación de control biológico con insecticidas naturales es una de las estrategias más efectivas dentro del MIP.

Figura I-18. Insectos depredadores



Fuente: Insectos benéficos. Miguel B. Nájera & Brígida (2010).

1.6.4.3 Biofertilizantes y bioestimulantes

Los biofertilizantes y bioestimulantes mejoran la salud general de las plantas, ayudando a que sean más resistentes a las plagas. Al fortalecer la planta, se reduce la vulnerabilidad a la invasión de insectos. SENASAG (2022) destacó que el uso de biofertilizantes es clave para complementar el uso de insecticidas naturales en un enfoque ecológico.

Figura I-19. Biofertilizantes



Fuente: Revista agrícola. Tecnoagro.

A través del análisis de las propiedades insecticidas del jabón potásico residual y los extractos vegetales, como ajo, orégano y lavanda, así como su integración con estrategias del Manejo Integrado de Plagas (MIP), se ha demostrado que este enfoque ecológico ofrece una alternativa sostenible y eficaz al control de plagas agrícolas. Con base en estos fundamentos, en la siguiente sección se procederá a detallar la metodología experimental empleada para formular, evaluar y optimizar un insecticida líquido a partir de estos insumos naturales, con el objetivo de confirmar su eficacia en el control de plagas en cultivos locales.

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2. INTRODUCCIÓN MARCO METODOLÓGICO Y PARTE EXPERIMENTAL

En este proyecto se emplea un método experimental orientado a la elaboración de un insecticida líquido a partir del jabón potásico residual utilizado como lubricante en las cintas transportadoras de la planta de engarrafado de GLP YPFB El Portillo. Este enfoque permite evaluar diferentes variables críticas del proceso, como la concentración de jabón potásico, el ajuste de pH, y la adición de extractos naturales con propiedades insecticidas.

La metodología experimental fue seleccionada debido a su capacidad para validar la viabilidad técnica y funcional de utilizar un residuo industrial como materia prima para la producción de un insecticida ecológico y eficiente. El estudio se llevó a cabo en varias etapas: primero, se recolectó y caracterizó el jabón potásico residual, evaluando sus propiedades fisicoquímicas, como el pH, la densidad y el contenido de materia grasa. Luego, se procedió a filtrar y purificar el residuo para eliminar impurezas, y se formuló una serie de mezclas insecticidas combinando el jabón con extractos naturales como ajo, oregano y lavanda.

La evaluación de la eficacia de las formulaciones se realizó mediante pruebas sobre diversas plagas comunes, como pulgones y moscas blancas, midiendo la mortalidad y el tiempo de acción de cada mezcla.

Este enfoque metodológico busca demostrar que es posible aprovechar un residuo industrial de manera sostenible para la creación de un producto útil y eficaz en el control de plagas a escala laboratorio, contribuyendo así a la reducción de residuos y a la promoción de alternativas ecológicas en el manejo de plagas.

2.1 Método de la Investigación

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, utilizando los métodos experimental y documental para analizar las variables que afectan la formulación y eficacia del insecticida. El enfoque experimental permitió estudiar de manera objetiva el rendimiento de las formulaciones a través de la medición de la mortalidad y el tiempo de acción de cada mezcla, mientras que el método documental se empleó para la revisión de literatura sobre los componentes utilizados, como el jabón potásico y los extractos naturales.

Este trabajo de investigación aplicada, titulado "Elaboración de Insecticida Líquido a partir de Jabón Potásico Residual en la Planta de Engarrafado de GLP YPFB El Portillo", se llevó a cabo en las Instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias, dependiente de la Carrera de

Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Juan Misael Saracho.

2.1.1 Método Experimental (Cuantitativo)

El enfoque de este estudio es experimental con un diseño cuantitativo, debido a que se realizaron diversas pruebas en laboratorio para evaluar la viabilidad y efectividad de la formulación de un insecticida utilizando jabón potásico residual. Para ello, se modificaron variables claves en el proceso, como la concentración de jabón potásico, el ajuste de pH de las mezclas, y la composición de extractos naturales como ajo, oregano y lavanda, con el objetivo de encontrar la fórmula más eficaz en el control de plagas.

La aplicación de un enfoque cuantitativo permitió cuantificar la influencia de cada factor en la potencia insecticida del producto final, utilizando mediciones precisas como la mortalidad de insectos y el tiempo de acción. Estos datos fueron recolectados y analizados mediante técnicas estadísticas, lo que facilitó la comparación objetiva entre diferentes formulaciones y condiciones experimentales.

Este método experimental proporcionó los datos numéricos necesarios para optimizar las condiciones de preparación del insecticida, identificando las combinaciones ideales de ingredientes y condiciones que maximizan su efectividad. De esta forma, se logró un análisis preciso de cómo las distintas variables afectan el rendimiento del insecticida, permitiendo la mejora continua del producto y su viabilidad como alternativa ecológica para el control de plagas.

2.1.2 Método Documental

El método documental utilizado en este estudio consistió en una búsqueda y análisis exhaustivo de información relacionada con el uso de jabón potásico residual en la elaboración de productos insecticidas, así como en la revisión de fuentes que exploran el aprovechamiento de residuos industriales para la creación de soluciones ecológicas en el control de plagas. La revisión de literatura se centró principalmente en estudios sobre la aplicación de jabón potásico en diversos contextos, su potencial como agente insecticida y las propiedades de extractos naturales comúnmente utilizados para este fin.

Este enfoque documental permitió fundamentar teóricamente el proyecto, identificando tanto los beneficios como las limitaciones de utilizar el jabón potásico residual como materia prima. Además, proporcionó una base de conocimiento sobre las normas técnicas aplicables, las mejores

prácticas en la formulación de insecticidas ecológicos y los parámetros operacionales que podrían optimizar la efectividad del producto. También se recopilaron estudios que comparan insecticidas sintéticos y biodegradables, lo que ayudó a contextualizar la relevancia de crear una alternativa más sostenible y amigable con el medio ambiente.

Este método documental implicó la recolección, evaluación y síntesis de información proveniente de artículos científicos, informes técnicos, tesis académicas y publicaciones especializadas, lo que permitió tener un panorama claro sobre los avances previos en la formulación de insecticidas líquidos. El objetivo principal fue obtener una base teórica sólida que apoyara la experimentación y optimización de las formulaciones, y que justificara el aprovechamiento del jabón potásico residual como una alternativa viable para el control de plagas, en comparación con opciones comerciales disponibles.

2.1.3 Justificación de la Metodología

La elección del método experimental cuantitativo junto con el método documental fue fundamental para abordar de manera integral el desarrollo y la optimización de un insecticida ecológico a partir de jabón potásico residual. El enfoque experimental permitió realizar pruebas prácticas que midieron con precisión la eficacia de las diferentes formulaciones, evaluando variables críticas como la concentración de jabón, el ajuste de pH y la combinación con extractos naturales. Estos experimentos generaron datos numéricos esenciales para determinar las condiciones óptimas y la efectividad del insecticida en el control de plagas.

Por otro lado, el método documental complementó y respaldó estos resultados al ofrecer un marco teórico sólido basado en investigaciones previas y fuentes científicas relevantes. A través de la revisión de literatura, se obtuvieron referencias sobre el uso del jabón potásico y los extractos naturales, lo que permitió validar las decisiones experimentales y mejorar la fiabilidad de los resultados obtenidos. La recopilación de datos de investigaciones previas también ayudó a comparar los efectos del insecticida desarrollado con los productos comerciales existentes, asegurando que el insecticida propuesto fuera competitivo y respetuoso con el medio ambiente.

El enfoque cuantitativo garantizó que cada variable se midiera de manera precisa y objetiva, lo que permitió una optimización continua del proceso y el producto final. Gracias a esta combinación de métodos, se pudo obtener una visión holística del proyecto, asegurando la validez y aplicabilidad de los resultados, y ofreciendo una solución efectiva y sostenible para el control de plagas.

2.2 Método de Muestreo

El muestreo es una etapa crucial en este proyecto, ya que asegura que los resultados obtenidos durante las pruebas sean representativos y confiables. La calidad del insecticida depende en gran medida de las propiedades de la materia prima utilizada y de las características del producto final. Por lo tanto, el muestreo se llevará a cabo en dos momentos clave del proceso: al inicio, en la recepción de la materia prima, y al final, durante el control de calidad del insecticida final.

2.2.1 Muestreo en la recepción de la materia prima

Al recibir el jabón potásico residual, se empleará un muestreo aleatorio para obtener una muestra representativa del material antes de iniciar su tratamiento. Este tipo de muestreo es fundamental para asegurar que las propiedades del jabón residual (como su pH, contenido de potasio y densidad) sean adecuadamente evaluadas desde el inicio del proceso.

2.2.2 Muestreo en el control de calidad del producto final

Al finalizar la formulación del insecticida y antes de su envasado, se llevará a cabo otro muestreo aleatorio para evaluar las propiedades del insecticida final, como su pH, eficacia insecticida (medida a través de pruebas de mortalidad en insectos) y estabilidad. Este muestreo es clave para verificar que las formulaciones obtenidas cumplan con los estándares de calidad establecidos y que sean efectivas para el control de plagas. Además, se realizará un análisis de las concentraciones de los ingredientes activos y se verificarán posibles residuos de sustancias no deseadas.

El muestreo aleatorio en ambas fases es esencial, ya que permite obtener datos precisos y representativos que asegurarán la calidad tanto de la materia prima como del producto final. Este tipo de muestreo permite realizar un seguimiento del proceso de manera objetiva y garantiza que las conclusiones sobre la efectividad del insecticida sean válidas y confiables.

2.3 SELECCIÓN DEL MÉTODO PARA EL DESARROLLO DEL PROCESO

Para la elaboración del insecticida líquido a partir de jabón potásico residual, se ha considerado la selección de tres metodologías de producción, cada una con características y ventajas particulares. Estos métodos son el método en caliente (convencional), el método en frío y el método por emulsión directa con extractos vegetales, los cuales han sido evaluados en función de su eficiencia, consumo energético, y capacidad de integración de los componentes activos.

2.3.1 Método en Caliente (Convencional)

El método en caliente es un proceso tradicional ampliamente utilizado en la industria para la elaboración de productos como jabones y emulsiones. Este proceso implica la mezcla controlada del jabón potásico residual con agua y otros aditivos bajo condiciones específicas de temperatura, generalmente en un rango de 40 °C a 60 °C, que favorecen la disolución y homogeneización de los ingredientes activos.

2.3.2 Método en Frío

El método en frío se caracteriza por su simplicidad y bajo consumo energético, ya que no requiere calor para disolver o combinar los ingredientes. En este método, el jabón potásico residual se mezcla con agua y otros aditivos a temperatura ambiente, utilizando agitación mecánica o manual.

2.3.3 Método por Emulsión Directa con Extractos Vegetales

El método por emulsión directa con extractos vegetales implica la combinación del jabón potásico con aceites vegetales insecticidas, como neem, eucalipto, ajo o citronela, para obtener una mezcla sinérgica que aumenta la eficacia del insecticida. Este proceso produce una formulación más compleja pero de mayor efectividad en el control de plagas.

2.4 Selección del método por matriz ponderada

La matriz de selección ponderada es una herramienta analítica que permite comparar y evaluar diferentes alternativas en función de criterios preestablecidos, asignando un peso relativo a cada uno según su importancia en el proceso de decisión. En el contexto de este proyecto, se utiliza para evaluar los tres métodos de producción del insecticida líquido a partir de jabón potásico residual (método en caliente, método en frío y método por emulsión directa con extractos vegetales). A través de esta matriz, se asignan puntajes a cada método según su eficiencia, consumo energético, capacidad de integración de componentes activos, y otros factores relevantes, lo que facilita la selección del método más adecuado para la elaboración de un insecticida ecológico y sostenible. A continuación, se describen las ventajas y desventajas de cada uno de estos métodos, los cuales serán evaluados mediante esta herramienta de selección.

Tabla II-01. Ventajas y desventajas de los métodos de desarrollo del proceso

Método	Ventajas	Desventajas
--------	----------	-------------

Método en Caliente (Convencional)	- Mejora la solubilidad y dispersión de ingredientes activos. - Permite buena integración con aceites o extractos vegetales. - Ideal para producción semiartesanal o piloto.	- Requiere consumo energético para calentamiento. - Puede haber pérdida de volátiles o degradación de compuestos si no se controla la temperatura.
Método en Frío	- Bajo consumo energético. - Menor riesgo de degradación térmica. - Adecuado para zonas rurales sin acceso a energía continua.	- Tiempo de mezcla más largo. - Dificultades para emulsionar extractos sin calentamiento. - Puede requerir estabilizantes naturales o conservantes.
Método por Emulsión Directa con Extractos Vegetales	- Mayor eficacia gracias al efecto combinado de sustancias bioactivas. - Puede ampliar el espectro de plagas tratadas. - Aumenta la persistencia del producto en el cultivo.	- Mayor complejidad en formulación y pruebas de compatibilidad. - Posible separación de fases si no se estabiliza correctamente. - Requiere control preciso de proporciones y condiciones.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.4.1 Criterios seleccionados para evaluación del método

Para seleccionar el método más adecuado en la producción del insecticida, se han establecido diversos criterios de evaluación que permiten una comparación objetiva entre las metodologías propuestas. A continuación, se presenta una tabla con los criterios seleccionados y su respectiva ponderación, los cuales fueron asignados en función de su relevancia en la obtención de un producto eficaz, eficiente y sostenible.

Tabla II-02. Criterios y ponderación para la selección y evaluación del método

Criterio	Descripción	Peso (fracción)
----------	-------------	-----------------

Eficacia técnica	Capacidad del método para incorporar y activar los ingredientes bioactivos.	0,25
Viabilidad en escala piloto	Facilidad de adaptación a nivel de laboratorio o producción semindustrial.	0,20
Consumo energético	Energía requerida para el proceso (menor consumo, mayor puntaje).	0,15
Compatibilidad con aditivos	Capacidad para integrar aceites esenciales y extractos vegetales.	0,15
Estabilidad del producto	Estabilidad química y física de la formulación obtenida.	0,15
Costo operativo	Costos aproximados del proceso y sus insumos. (menor costo, mayor puntaje)	0,10
Total		1,00 (100%)

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.4.2 Matriz de Decisión Ponderada para Selección del Método

Con el fin de facilitar una evaluación objetiva y estructurada de los métodos propuestos, se aplicó una matriz de decisión ponderada, herramienta que permite comparar los métodos en función de los criterios previamente establecidos y sus respectivas ponderaciones. A continuación, se presenta la matriz de decisión ponderada, donde se detallan los puntajes asignados a cada uno de los métodos, permitiendo una evaluación comparativa de su rendimiento según los parámetros definidos para la selección del método más adecuado.

Tabla II-03. Matriz de decisión ponderada

Criterio	Peso	Método en caliente		Método en frío		Emulsión directa	
		Puntaje	Ponderado	Puntaje	Ponderado	Puntaje	Ponderado
Eficacia técnica	0,25	6	1,5	9	2,25	8	2
Viabilidad en escala piloto	0,2	7	1,4	9	1,8	6	1,2
Consumo energético	0,15	5	0,75	8	1,2	5	0,75

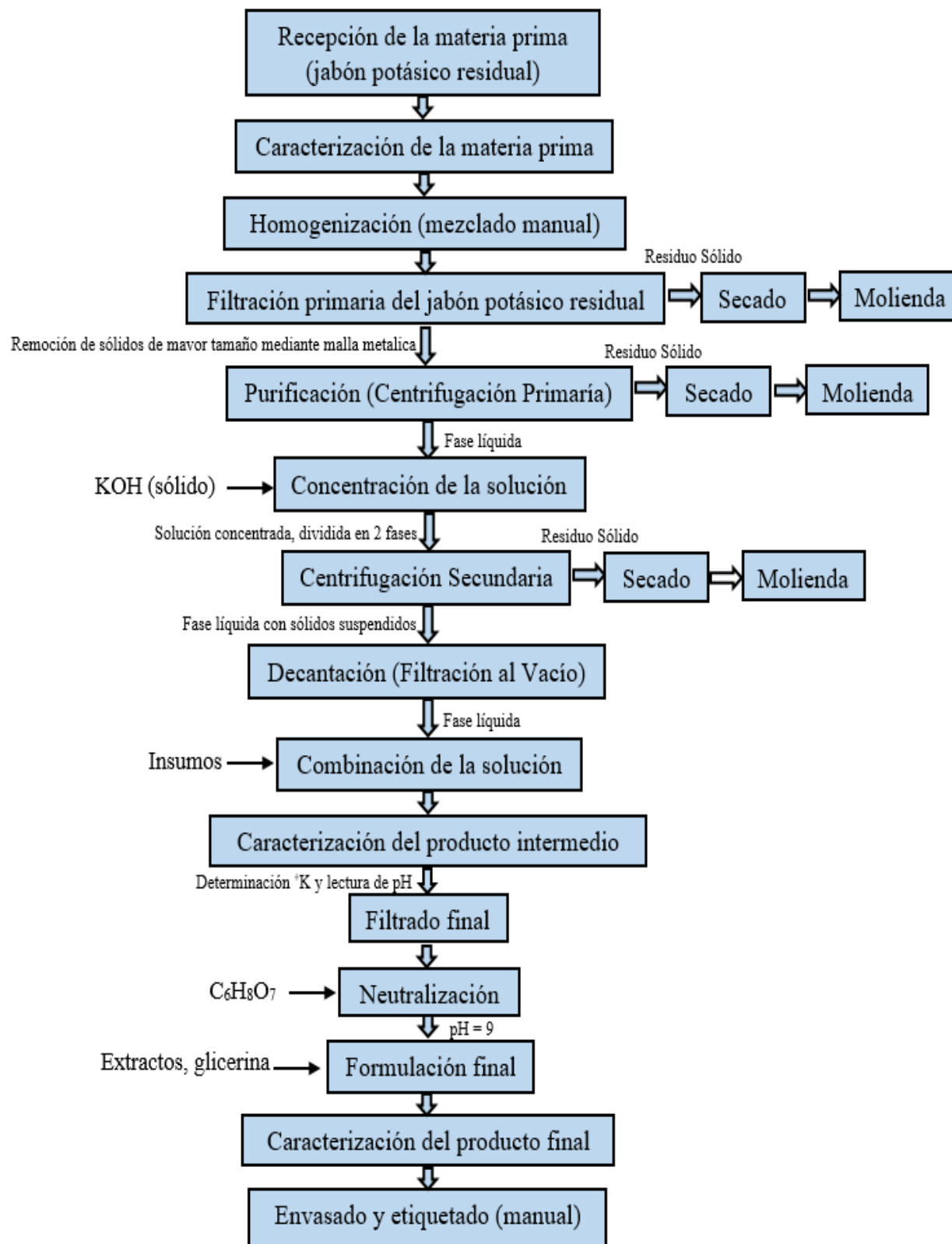
Compatibilidad con aditivos	0,15	6	0,9	9	1,35	8	1,2
Estabilidad del producto	0,15	6	0,9	8	1,2	7	1,05
Costo operativo	0,1	8	0,8	7	0,7	5	0,5
Total	1		6,25		8,5		6,7

Fuente: Elaboración propia, 2026.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la matriz de decisión ponderada, el método en frío presentó el mayor puntaje total (8.5), lo que indica que es el método más adecuado para el desarrollo del proceso experimental, debido a su bajo consumo energético, alta compatibilidad con extractos vegetales y facilidad de implementación a escala laboratorio.

2.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO EXPERIMENTAL DESARROLLADO

A continuación, se presenta el diagrama de flujo del proceso utilizado en la elaboración del insecticida líquido a partir del jabón potásico residual. Este proceso se inicia con la recepción de la materia prima (jabón potásico residual), seguida de una serie de etapas de preparación y tratamiento, que incluyen medición y homogenización. La filtración primaria y la purificación mediante centrifugación son fundamentales para eliminar impurezas, seguidas de la concentración de la solución mediante la adición de KOH sólido. Posteriormente, se lleva a cabo una segunda centrifugación y un proceso de decantación para separar los residuos sólidos de las fases líquidas. La formulación final se prepara incorporando los insumos necesarios, y se realiza una medición de pH y filtrado final para asegurar la calidad del producto. Finalmente, el insecticida es envasado, etiquetado y almacenado, completando el ciclo de producción que se detalla en el diagrama siguiente. Este enfoque metodológico permite garantizar la obtención de un insecticida efectivo y ecológico, utilizando un residuo industrial como materia prima de manera sostenible.

Figura II-01. Diagrama de Bloques del Proceso Experimental

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.5.1 Equipos

Los equipos utilizados para el desarrollo experimental se encuentran descritos en la siguiente tabla:

Tabla II-04. Especificaciones de los equipos utilizados en el proceso experimental

Equipo	Función
Agitador eléctrico regulable	Mezclar líquidos, ajustando la velocidad de agitación según sea necesario. Es ideal para obtener mezclas uniformes según el tipo de material y la viscosidad del líquido.
Balanza	Medir con precisión el peso de sustancias en el laboratorio, permitiendo obtener resultados exactos en pequeñas cantidades.
Centrifuga	Separa componentes de una mezcla líquida mediante la aplicación de fuerza centrífuga, utilizando la rotación rápida para distinguir sustancias de diferente densidad, como células, proteínas o partículas, permitiendo su aislamiento para análisis o procesamiento posterior.
Secador	Elimina la humedad de las muestras o productos mediante el uso de calor y circulación de aire, facilitando el secado rápido y controlado para preservar la calidad y evitar la proliferación de microorganismos.
Espectrómetro de Absorción Atómica	Identificar y cuantificar metales en una muestra, midiendo la cantidad de luz absorbida por los átomos en estado gaseoso, lo que permite obtener resultados precisos y sensibles incluso a concentraciones muy bajas.
Medidor de pH digital	Determinar de manera rápida y precisa el pH de soluciones acuosas, proporcionando resultados fiables para el control de calidad, análisis químico y monitoreo de procesos en diversas aplicaciones.
Molino	Triturar y pulverizar materiales sólidos mediante un proceso de molienda, facilitando la obtención de muestras homogéneas para su análisis posterior.

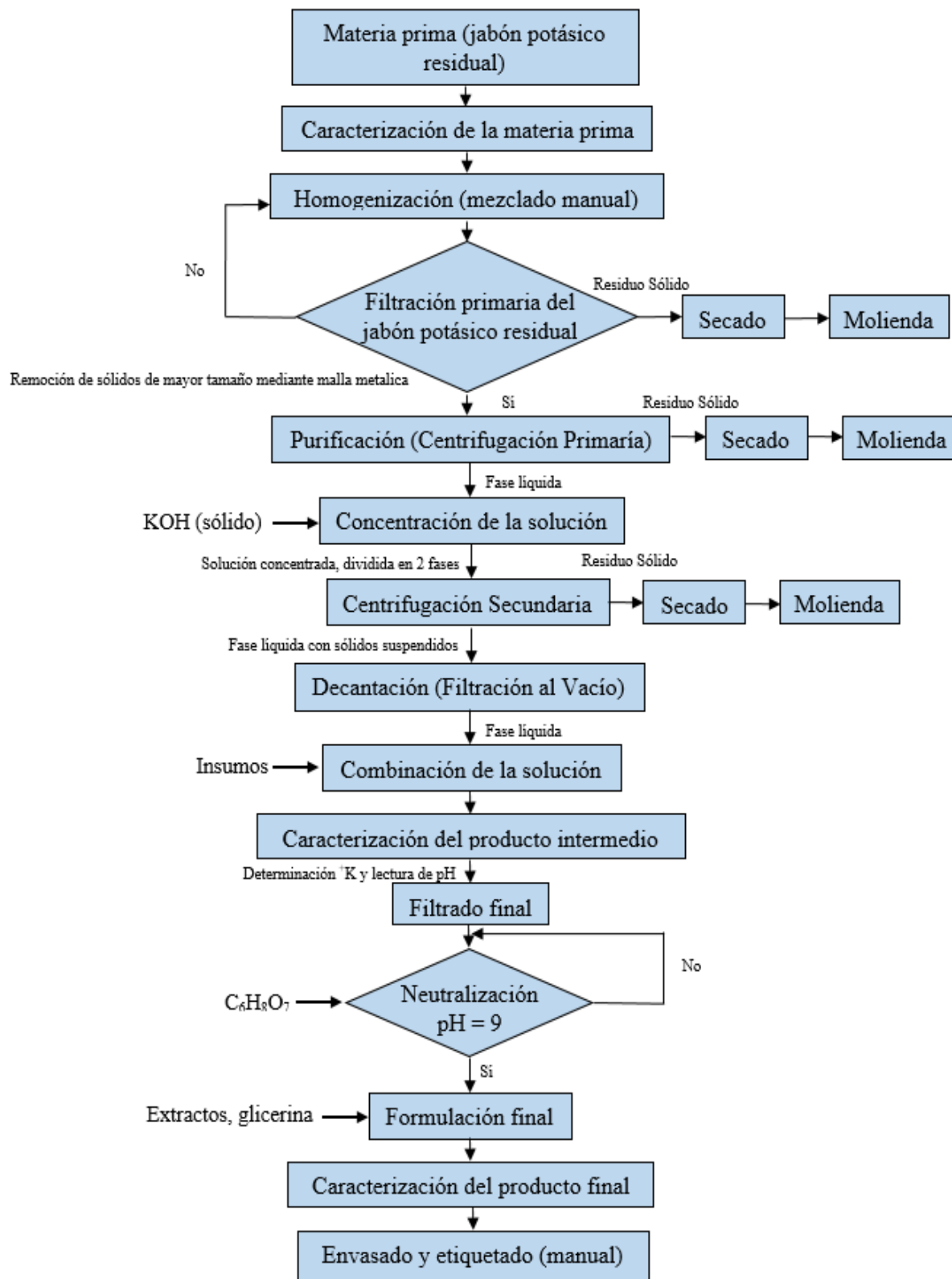
Termómetro digital	Determinar con alta precisión la temperatura de una sustancia o ambiente, mediante un sensor electrónico que convierte la temperatura en una señal digital.
Conductímetro	Medir la conductividad eléctrica de una solución, lo que permite determinar la concentración de iones presentes en la muestra.
Viscosímetro	Permite obtener valores precisos de la viscosidad, que son esenciales para evaluar las propiedades reológicas de los fluidos y su comportamiento en diferentes procesos industriales, químicos y alimentarios.
Fotómetro de llama	Medir la concentración de iones metálicos en una muestra, especialmente de metales como sodio, potasio, calcio y litio, mediante la emisión de luz cuando los átomos de esos metales son excitados por una llama. La intensidad de la luz emitida es proporcional a la concentración del metal en la muestra, lo que permite su cuantificación.
Balanza de humedad	Determinar el contenido de agua en las muestras, permitiendo medir con precisión la cantidad de humedad presente en los materiales, lo cual es fundamental para el control de calidad y la adecuada gestión del proceso de producción.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.6 DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DEL PROCESO EXPERIMENTAL DESARROLLADO

A continuación, se detallan de manera secuencial y metodológica las etapas que conformaron el proceso experimental desarrollado, describiendo cada procedimiento realizado desde la preparación inicial de la materia prima hasta las operaciones destinadas a su purificación y acondicionamiento.

Figura II-02. Diagrama de Flujo del Proceso Experimental



Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.6.1 Recepción de la Materia prima

En la etapa de recepción de la materia prima se recolecta el jabón potásico residual generado en la planta de engarrafado de GLP YPFB El Portillo, proveniente del sistema de lubricación de las cintas transportadoras utilizadas en el manejo de garrafas de GLP. Este residuo, una solución acuosa compuesta principalmente por jabón potásico a base de hidróxido de potasio (KOH) y agua. Tras su recolección, la materia prima es transportada al laboratorio en envases limpios y rotulados, garantizando su trazabilidad y evitando la contaminación cruzada, para su adecuada utilización en las etapas subsecuentes del proceso experimental.

Figura II-03. Recepción de Jabón Potásico Residual



Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.6.2 Caracterización de la materia prima

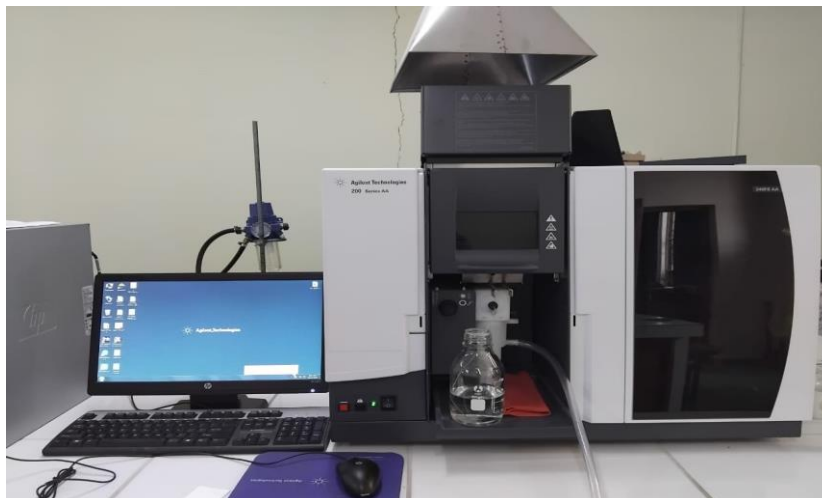
La caracterización de la materia prima es esencial para evaluar las propiedades físico-químicas del jabón potásico residual y su viabilidad como base para la formulación del insecticida líquido ecológico. En esta etapa, se realizaron diversas determinaciones clave, tales como la concentración de potasio (K^+), la densidad y el pH, que permiten establecer la calidad y efectividad de la materia prima en el proceso de formulación.

2.6.2.1 Determinación de la concentración de potasio (K^+)

La determinación de la concentración de potasio (K^+) en el jabón potásico residual se llevó a cabo mediante espectrometría de absorción atómica (FAA). Este método permitió medir con precisión

la concentración de iones potasio en la muestra, siendo un parámetro crucial para evaluar su potencial como agente activo en la elaboración del insecticida líquido.

Figura II-04. Espectrómetro de absorción atómica



Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.6.2.1.1 Curva de calibración de la solución

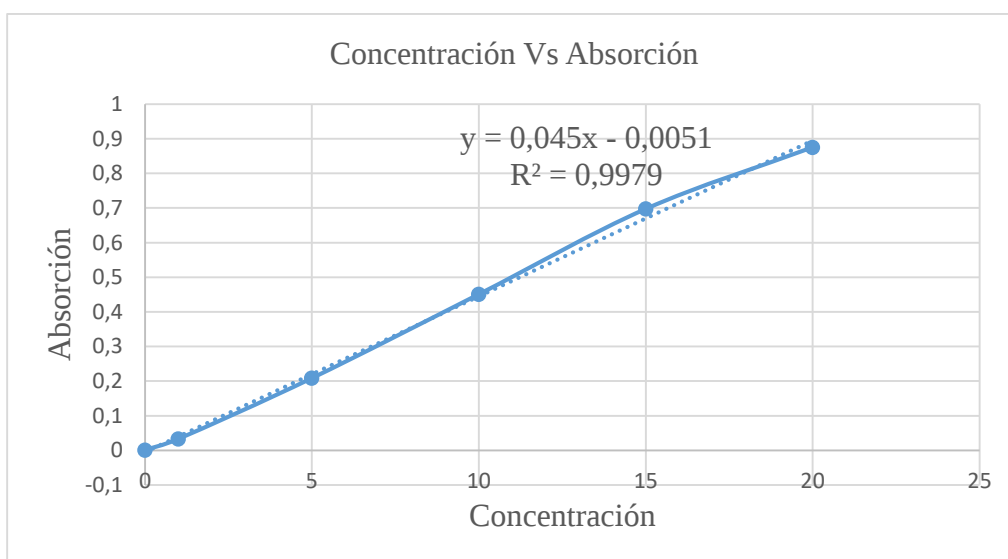
El procedimiento comenzó con la elaboración de una curva de calibración, la cual establece la relación entre la absorbancia medida por el espectrómetro y la concentración de potasio en soluciones estándar. Para ello, se siguió el siguiente proceso:

2.6.2.1.1.1 Procedimiento

- Se preparó una solución patrón madre de potasio con una concentración de 1000 mg/L, utilizando un estándar certificado de K^+ (nitrato o cloruro de potasio disuelto en agua desionizada). Esta solución fue almacenada en un frasco limpio y etiquetado adecuadamente para asegurar su trazabilidad.
- A partir de la solución madre, se realizaron diluciones sucesivas con agua desionizada para obtener al menos cinco soluciones estándar con concentraciones progresivas de potasio. Estas soluciones se prepararon en matraces aforados de 100 mL, garantizando precisión en cada dilución.
- El espectrómetro de absorción atómica se encendió y se configuró a la longitud de onda específica para la detección de potasio, que es generalmente 766,5 nm. Se conectaron los suministros de gases (acetileno y aire), se purgó el sistema y se encendió la llama siguiendo el protocolo del fabricante.

- Se utilizó agua desionizada como blanco para ajustar el cero del equipo. Luego, se introdujeron las soluciones estándar, comenzando por la de menor concentración, y se registró su absorbancia, esperando a que la señal se estabilizara antes de registrar cada valor.
- Con los datos de absorbancia obtenidos de cada solución estándar, se construyó la curva de calibración graficando la absorbancia (eje Y) frente a la concentración de potasio (eje X). La relación obtenida fue lineal, y se determinó la ecuación de la recta ($y = mx + b$) y el coeficiente de correlación (R^2), lo cual aseguró la confiabilidad de los datos.

Figura II-05. Curva de Calibración



Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.6.2.1.2 Medición de la densidad

La medición de la densidad de la solución de jabón potásico residual fue realizada para determinar su masa por unidad de volumen, lo que proporciona información importante sobre su concentración y propiedades fisicoquímicas. La densidad se determinó mediante el uso de un picnómetro, un dispositivo preciso que permite medir la masa de un volumen conocido de la muestra.

2.6.2.1.2.1 Procedimiento

- Se preparó el picnómetro asegurando que estuviera limpio y seco para evitar contaminaciones que pudieran alterar los resultados.
- Se llenó el picnómetro con la solución de jabón potásico residual, asegurándose de eliminar cualquier burbuja de aire y de que el volumen fuera exacto.

- Se pesó el picnómetro lleno de muestra y se registró su masa.
- Posteriormente, se vació el picnómetro, se limpió y se pesó nuevamente para obtener la masa del picnómetro vacío.
- La densidad de la muestra se calculó utilizando la fórmula:

Ecuación II-01. Ec. Densidad

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \text{Densidad} = \frac{\text{masa de la muestra}}{\text{volumen del picnómetro}}$$

Donde:

ρ = densidad de la muestra (g/mL)

m = masa de la muestra (g)

V = volumen del picnómetro (mL)

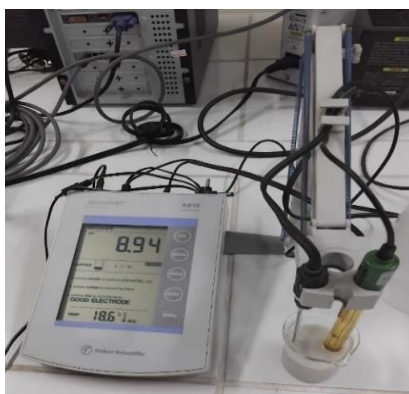
Figura II-06. Picnómetro



Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.6.2.1.3 Lectura del pH

El pH de la solución residual fue medido para evaluar su acidez o alcalinidad. El pH es un parámetro crítico, ya que influye en la estabilidad química del insecticida y en la efectividad del jabón potásico residual como agente activo. La medición se llevó a cabo utilizando un medidor de pH calibrado, asegurando precisión en la lectura y garantizando que la solución se encontrara dentro del rango adecuado para su uso como base para la formulación del insecticida.

Figura II-07. Lectura de pH

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.6.2.1.4 Lectura de la viscosidad

Para evaluar las propiedades físicas de la materia prima en la formulación del insecticida, se llevó a cabo la medición de la viscosidad utilizando un viscosímetro. Este equipo permitió determinar la resistencia al flujo de la solución de jabón potásico residual, proporcionando datos clave sobre su consistencia y su comportamiento durante las etapas de mezcla.

Figura II-08. Lectura de la viscosidad

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.6.2.1.5 Lectura de la conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica de la solución fue determinada mediante un conductímetro digital, con el objetivo de evaluar la concentración de especies iónicas presentes en el jabón potásico residual. Este parámetro es importante para estimar la cantidad de sales disueltas y su posible influencia en la estabilidad de la formulación del insecticida.

2.6.2.1.6 Homogenización

En esta etapa se procedió a mezclar y homogenizar la materia prima almacenada en los recipientes utilizando un agitador mecánico tipo taladro equipado con una hélice mezcladora del laboratorio. Este proceso permitió asegurar una distribución uniforme de los componentes del jabón potásico residual, garantizando que la solución alcanzara una consistencia homogénea y adecuada para las fases posteriores del proceso experimental. La mezcla adecuada es crucial para asegurar que las propiedades del jabón potásico residual, como su concentración de potasio y sus características surfactantes, se mantuvieran de manera consistente en toda la muestra.

Figura II-09. Homogenización



Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.6.2.1.7 Filtración primaria

En la etapa de filtración primaria, se procedió a eliminar los residuos sólidos suspendidos, tanto grandes como pequeños, presentes en la materia prima mediante filtración mecánica utilizando un colador de malla fina. Este proceso permitió separar las partículas no solubles y otras impurezas que pudieran interferir en la calidad del insecticida, asegurando que la solución obtenida tuviera una mayor pureza y estuviera lista para las fases posteriores del proceso de formulación. La filtración primaria es crucial para garantizar que los componentes activos de la solución permanezcan intactos y que no se vean comprometidas las características físicas y químicas de la mezcla.

Figura II-10. Filtración Primaria



Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.6.2.1.8 Purificación (Centrifugación primaria)

La etapa de purificación mediante centrifugación primaria tiene como objetivo separar los residuos sólidos finos y las impurezas presentes en la solución de jabón potásico residual, utilizando la fuerza centrífuga para sedimentar las partículas más densas y obtener una fase líquida más pura. Este proceso es fundamental para garantizar que la solución esté libre de contaminantes y sea adecuada para su posterior formulación como insecticida líquido.

2.6.2.1.8.1 Procedimiento

- Se procedió a llenar los 8 tubos de centrifugación con la solución de jabón potásico residual, asegurándose de no llenarlos completamente para evitar un desbalance durante la centrifugación.
- Una vez preparados los tubos, se encendió el centrífugo. Se destapó la tapa del equipo y se colocaron los tubos de manera equilibrada, verificando que estuvieran distribuidos de forma simétrica para evitar vibraciones durante el proceso.
- Se tapó la tapa del centrífugo de manera segura para garantizar que no hubiera fugas durante el proceso de rotación.
- Se ajustaron los parámetros del equipo, configurando la velocidad de rotación y el tiempo de centrifugado, de acuerdo con las especificaciones necesarias para separar eficientemente los residuos sólidos finos.

- Se inició el ciclo de centrifugado, donde el equipo giró a alta velocidad, permitiendo que las partículas más densas se sedimentaran en el fondo de los tubos, mientras que la fase líquida más limpia permaneció en la parte superior.
- Al finalizar el proceso, se extrajo la fase líquida superior, ya libre de los residuos sólidos finos, que fue utilizada para las siguientes etapas del proceso de formulación del insecticida.

Figura II-11. Purificación (Centrifugación Primaria)



Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.6.2.1.9 Secado de la masa de centrifugación primaria

En la etapa de secado primario, la masa obtenida a partir de los ocho tubos de centrifugación fue retirada cuidadosamente y posteriormente pesada en la balanza de humedad para determinar su contenido inicial de agua. Una vez registrada esta información, el material fue transferido a la secadora de bandejas, donde se dispuso uniformemente y se sometió a un proceso de deshidratación controlada a una temperatura constante de 60 °C.

Este procedimiento permitió reducir el exceso de humedad presente en la fase sólida residual, favoreciendo su estabilización física y evitando posibles degradaciones que pudieran afectar su composición o su desempeño en las etapas posteriores de formulación del insecticida.

Figura II-12. Secado

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.6.2.1.10 Molienda primaria

En la etapa de molienda, la masa previamente secada fue sometida a un proceso de reducción de tamaño con el fin de transformar el material sólido en partículas finas y uniformes. Este procedimiento permitió obtener un polvo más homogéneo y fácil de manipular, asegurando una mejor dispersión y aprovechamiento de sus componentes durante las etapas posteriores de formulación del insecticida líquido.

Figura II-13. Molienda Primaria

Fuente: Elaboración propia, 2026.

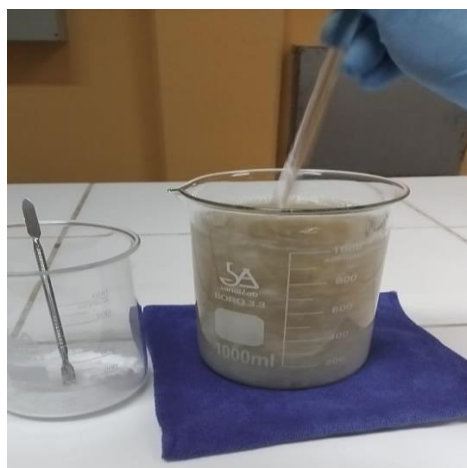
2.6.2.1.11 Concentración de la solución

La etapa de concentración tiene como objetivo aumentar la concentración de la solución de jabón potásico residual obtenida en la etapa de purificación, mediante la adición controlada de hidróxido de potasio (KOH). Esta adición provoca una reacción exotérmica, generando calor, que facilita el proceso de concentración de la solución. Este paso es esencial para ajustar las propiedades del insecticida y garantizar que su eficacia se mantenga en las concentraciones deseadas.

2.6.2.1.11.1 Procedimiento

- Se tomó la solución líquida obtenida de la centrifugación primaria, asegurando que la fase líquida estuviera libre de impurezas y residuos sólidos antes de iniciar el proceso de concentración.
- A continuación, se procedió a añadir cuidadosamente hidróxido de potasio (KOH) sólido a la solución líquida. La cantidad de KOH fue ajustada según el objetivo de concentración deseado, tomando en cuenta la proporción para generar una solución más concentrada sin exceder los límites de saturación.
- Durante la adición del KOH sólido, se utilizó una varilla de vidrio para agitar constantemente la solución. Esta agitación permitió una disolución uniforme del KOH en la fase líquida, asegurando que el KOH se distribuyera de manera homogénea en toda la mezcla y evitando la formación de grumos o precipitados.
- Al añadir el KOH, se inició una reacción exotérmica que generó un aumento en la temperatura de la solución. A medida que avanzaba la reacción, se observó la formación gradual de dos fases distintas en la mezcla. Primero, se formó una fase acuosa en la parte inferior, mientras que la fase superior, más espesa y viscosa, comenzó a separarse. Con el tiempo, estas dos fases se estabilizaron, resultando en una separación clara entre la fase acuosa y la fase oleosa.
- Para asegurar una disolución homogénea y la correcta formación de las fases, se continuó con la agitación constante de la solución. Esto permitió que ambas fases permanecieran bien definidas y estables.
- Durante la reacción, se monitoreó la temperatura de la solución para asegurar que no se sobrepasaran los límites operativos del proceso. En caso necesario, se aplicó enfriamiento controlado para evitar un aumento excesivo de la temperatura.
- Al concluir la adición de KOH y la agitación, se obtuvo una solución concentrada con las dos fases claramente separadas, las cuales fueron preparadas para las siguientes etapas del proceso de formulación del insecticida.

Figura II-14. Concentración de la solución



Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.6.2.1.12 Centrifugación secundaria

En la etapa de centrifugación secundaria, se utilizó el equipo de centrifugación para separar las dos fases obtenidas durante la concentración de la solución. El tiempo de rotación se ajustó a 15 minutos, lo que permitió que las partículas sólidas se compactaran en la capa superior del tubo. Al finalizar el proceso, se removi6 cuidadosamente esta capa s6lida, aunque quedaron peque1as part6culas flotantes en la fase l6quida. Estas part6culas ser6n eliminadas en etapas posteriores, y la fase l6quida purificada qued6 lista para continuar con las siguientes fases del proceso de formulaci6n del insecticida.

Figura II-15. Centrifugaci6n Secundaria



Fuente: Elaboraci6n propia, 2026.

2.6.2.1.13 Filtraci6n al vac6o

En la etapa de filtraci6n al vac6o, se emple6 un sistema de filtraci6n para eliminar las peque1as part6culas flotantes restantes en la fase l6quida, que no pudieron ser eliminadas durante la

centrifugación secundaria. Este proceso permitió obtener una solución más limpia y transparente, eliminando cualquier impureza residual. La filtración al vacío asegura una mayor pureza de la solución, garantizando que la mezcla esté completamente libre de sólidos antes de ser utilizada en las siguientes etapas de formulación del insecticida.

Figura II-16. Filtración al Vacío



Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.6.2.1.14 Secado secundario

En la etapa de secado secundario, la masa sólida obtenida tras la filtración al vacío fue nuevamente deshidratada en la secadora para eliminar la humedad residual y asegurar su estabilidad. Este proceso permitió obtener un material más seco y homogéneo, adecuado para ser sometido a la molienda posterior.

2.6.2.1.15 Molienda secundaria

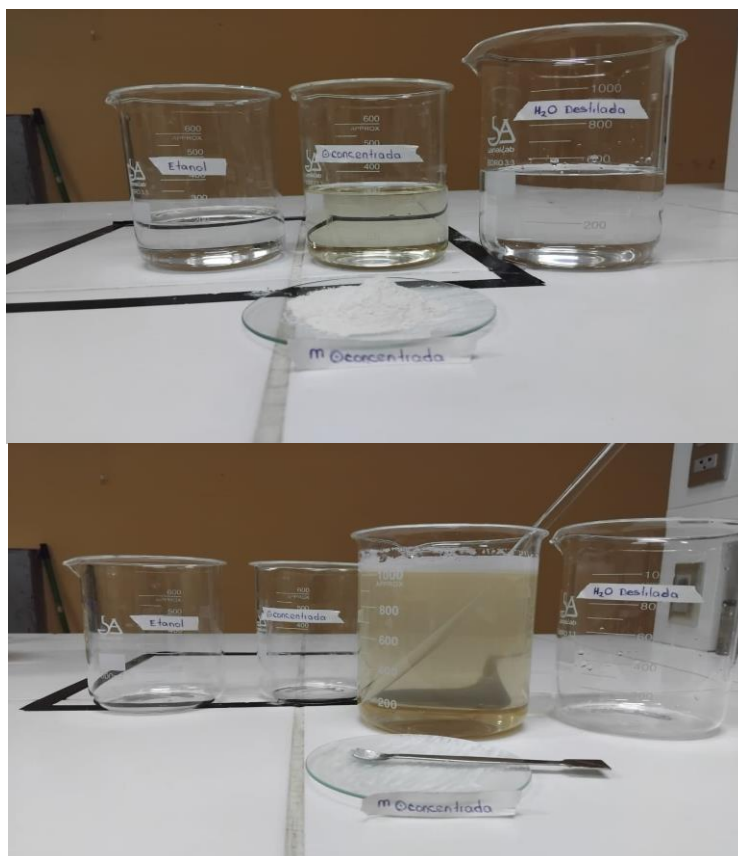
En la etapa de molienda secundaria, la masa sólidamente secada fue triturada hasta obtener un polvo fino y uniforme, lo que facilita su correcta incorporación y dispersión durante la combinación con la solución concentrada en las siguientes fases de formulación del insecticida.

2.6.2.1.16 Combinación de la Solución

En la etapa de combinación de la solución, se integró el sólido seco en polvo, obtenido tras el secado y molido de la capa sólida retirada durante la centrifugación secundaria, con la fase líquida purificada. A esta mezcla se añadió etanol y agua destilada en proporciones específicas para ajustar la concentración y asegurar la estabilidad de la solución. Aunque se logró un equilibrio en la mezcla, todavía permanecieron pequeños sólidos flotantes en la solución. Esta mezcla, aunque no completamente libre de partículas, constituyó la base para la formulación del insecticida, con el

etanol ayudando a la solubilización de los componentes activos y el agua destilada ajustando la concentración final para su aplicación.

Figura II-17. Combinación de la Solución



Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.6.2.1.17 Caracterización del Producto Intermedio

En esta etapa, se procedió a la caracterización del producto intermedio obtenido tras la combinación de la solución. Se llevaron a cabo dos análisis fundamentales para determinar la calidad y efectividad de la solución: la concentración de potasio y el pH de la mezcla.

- ❖ **Concentración de potasio:** Se realizó un análisis cuantitativo de potasio mediante espectrometría de absorción atómica (AA), con el objetivo de evaluar la presencia y la cantidad de este elemento en la solución final. Este análisis permitió asegurar que la concentración de potasio estuviera dentro de los niveles requeridos para garantizar la efectividad del producto.
- ❖ **Análisis de pH:** Se midió el pH de la solución utilizando un medidor de pH calibrado. El valor de pH es un parámetro crítico, ya que puede influir en la solubilidad de los compuestos activos y en su capacidad para interactuar con los insectos. Además, un pH

adecuado asegura la estabilidad de la formulación y previene la descomposición de los ingredientes activos. Los resultados obtenidos indicaron que el pH se mantenía dentro de los rangos óptimos para la actividad insecticida, asegurando así su eficacia y seguridad en su uso.

Estos análisis proporcionaron información valiosa sobre las propiedades físico-químicas del producto intermedio, y fueron fundamentales para ajustar la formulación y confirmar que el producto final cumple con las especificaciones necesarias para su aplicación eficaz como insecticida.

2.6.2.1.18 Filtrado Final

Una vez realizado el análisis del producto intermedio, se procedió al filtrado final mediante filtración al vacío, con el objetivo de eliminar las pequeñas partículas sólidas que permanecían en suspensión tras las etapas anteriores. A pesar de los esfuerzos previos de purificación, algunas partículas finas de materia orgánica y restos insolubles seguían presentes, lo que podría afectar la calidad del producto y su aplicación como insecticida.

El proceso de filtrado permitió obtener una solución limpia y clara, que constituye la base sobre la cual se llevarán a cabo las etapas posteriores de formulación y análisis para determinar su efectividad como insecticida.

Figura II-18. Filtración final



Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.6.2.1.19 Ajuste y Neutralización del pH del Producto Intermedio

En esta etapa, tras el filtrado final, se observó que la solución resultante presentaba un pH básico fuera del rango óptimo para la formulación del insecticida. Por lo tanto, se procedió a ajustar y

neutralizar el pH de la solución, con el objetivo de reducirlo a un valor dentro del rango 9-11, considerado adecuado para garantizar la efectividad y estabilidad del producto final.

Para lograr este ajuste, se utilizó ácido cítrico, que permitió disminuir gradualmente el pH sin alterar las propiedades físico-químicas del insecticida. Este proceso de neutralización fue monitoreado constantemente con el fin de asegurar que el pH alcanzara el valor deseado, garantizando que el producto final no solo sea eficaz contra las plagas, sino también seguro para su aplicación y almacenamiento.

Figura II-19. Neutralización de pH



Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.6.2.1.20 Formulación Final

En la etapa de formulación final, se procedió a la adición de los extractos vegetales de ajo, orégano y lavanda a la solución filtrada. Cada extracto se incorporó en cantidades iguales en volumen, asegurando una distribución homogénea de los componentes activos en la solución. Esta adición tiene como objetivo ajustar la concentración de los principios activos presentes en los extractos, con el fin de obtener una formulación equilibrada que posea las propiedades insecticidas necesarias para el control eficaz de plagas.

La incorporación de estos extractos se realizó de manera controlada, buscando alcanzar un concentrado adecuado que maximice la actividad insecticida sin comprometer la estabilidad y la seguridad del producto final. Una vez adicionados los extractos, la solución fue cuidadosamente mezclada para asegurar su homogeneidad, lo que permitió obtener una mezcla uniforme y lista para las pruebas de efectividad en etapas posteriores.

Figura II-20. Formulación final



Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.6.2.1.21 Evaluación de la Eficacia Insecticida en Plantas y Hortalizas

En esta etapa, se procedió a la evaluación de la eficacia insecticida de las soluciones formuladas previamente, mediante su aplicación en plantas y hortalizas cultivadas en el Laboratorio de Suelos de la UAJMS, el cual cuenta con plagas representativas para el estudio. Las pruebas se llevaron a cabo tanto en plantas cítricas como en hortalizas, seleccionadas debido a su susceptibilidad a las plagas y su relevancia agrícola.

Las soluciones preparadas, con diferentes concentraciones de extractos de ajo, orégano y lavanda, fueron aplicadas de acuerdo con el protocolo experimental diseñado para observar su capacidad de control de plagas. La efectividad de cada formulación fue evaluada a través de la observación directa del comportamiento de las plagas, la reducción en la población de insectos, y el impacto en la salud de las plantas tratadas. Los resultados obtenidos proporcionarán información clave sobre la viabilidad de las formulaciones como insecticidas naturales para su posible aplicación en la agricultura sostenible.

Figura II-21. Evaluación de la eficacia en plantas



Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.6.2.1.22 Caracterización y Evaluación de la Calidad del Producto Final

En esta etapa, se procederá a la caracterización y evaluación de la calidad del producto final obtenido, tras la adición de los extractos activos de ajo, orégano y lavanda. El análisis se centrará en determinar si las concentraciones de los extractos alcanzadas en la formulación son las adecuadas para garantizar la efectividad insecticida frente a las plagas objetivo.

Se realizaron diversos ensayos físico-químicos, como la medición de la estabilidad de la formulación, la viscosidad y la concentración de compuestos activos, con el fin de asegurar que el producto final cumpla con los estándares de calidad requeridos para su aplicación práctica. Además, se verificarán las propiedades sensoriales (color, olor) y la seguridad del insecticida, asegurando que el producto no presente riesgos para el ambiente o para las plantas tratadas.

Este análisis permitirá confirmar la efectividad y viabilidad del insecticida en su formulación final, asegurando que cumple con los parámetros establecidos para su uso como herramienta de control biológico de plagas en cultivos.

Figura II-22. Caracterización y Evaluación de la Calidad del producto Final



Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.6.2.1.23 Envasado del Producto Final

Una vez finalizada la formulación y asegurada la calidad del producto, se procederá al envasado del insecticida en botellas plásticas de alta densidad (PET), con capacidades de 1 litro y medio litro, adecuadas para su almacenamiento y aplicación.

Estas botellas, seleccionadas por su resistencia y capacidad para preservar las propiedades del insecticida, permitirán su manipulación y transporte de manera segura y eficiente.

El envasado se realizará bajo condiciones controladas para evitar cualquier tipo de contaminación o alteración en la solución, asegurando que el producto conserve su efectividad durante su almacenamiento y uso. Las botellas serán cerradas herméticamente para prevenir fugas y asegurar la integridad del contenido hasta su momento de aplicación.

Figura II-23. Envasado del producto final



Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.6.2.1.24 Etiquetado del Producto Final

Una vez completado el envasado, se procederá al etiquetado de las botellas con el objetivo de proporcionar información clara y precisa sobre el producto final. Las etiquetas incluirán los detalles esenciales como el nombre del producto, la composición del insecticida, las instrucciones de uso, las precauciones para su manipulación, y los datos de seguridad correspondientes, conforme a las normativas vigentes para productos químicos y biológicos.

Además, se indicará el volumen contenido en cada envase. El etiquetado será realizado de manera que sea legible, resistente y adecuado para el tipo de material de las botellas, asegurando que la información permanezca intacta a lo largo del tiempo y del uso del producto.

Figura II-24. Etiquetado del producto final



Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.6.2.1.25 Embalaje y Almacenamiento del Producto Final

Una vez completadas las etapas de envasado y etiquetado, se procederá al embalaje del producto final en cajas de cartón resistentes, diseñadas para proteger las botellas durante el almacenamiento y transporte. Las cajas serán dimensionadas adecuadamente para asegurar que cada botella quede fija y protegida, evitando posibles daños durante su manejo.

El embalaje se realizará de manera ordenada, colocando las botellas de forma segura dentro de cada caja, con el objetivo de minimizar riesgos de ruptura o filtración. Además, las cajas serán etiquetadas con los mismos datos que las botellas, facilitando su identificación en cualquier etapa del proceso logístico.

Una vez embalado, el producto será almacenado en un área adecuada, bajo condiciones que aseguren su preservación y estabilidad. Las condiciones de almacenamiento estarán controladas para evitar factores como la exposición excesiva a la luz, calor o humedad, que puedan

comprometer la calidad del insecticida. Este proceso garantizará que el producto final se mantenga en óptimas condiciones hasta su distribución y uso.

2.7 DISEÑO EXPERIMENTAL

2.7.1 Diseño Experimental Utilizado

El diseño experimental es una herramienta estadística que permite planificar y ejecutar experimentos de manera sistemática, con el fin de analizar cómo diferentes factores afectan una variable de respuesta. En este proyecto, se utilizará un diseño factorial 2^k , el cual es ideal para estudiar el impacto de múltiples factores sobre la efectividad del insecticida elaborado a partir de jabón potásico residual y extractos vegetales.

El diseño factorial 2^k se caracteriza por tener dos niveles para cada factor, donde cada nivel representa una condición experimental específica, y el número total de experimentos necesarios para estudiar todas las combinaciones posibles es 2^k , siendo k el número de factores involucrados en el estudio.

Este diseño permite no solo evaluar el efecto principal de cada factor sobre la respuesta (efectividad del insecticida), sino también analizar las interacciones entre los factores, lo que proporciona una visión más profunda de cómo se combinan para influir en el rendimiento del producto.

La ecuación general para un modelo factorial 2^k es la siguiente:

Ecuación II-02. Ec. Variable respuesta

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon$$

Donde:

- ❖ **Y:** Variable de respuesta, que en este caso es la efectividad del insecticida (control de plagas).
- ❖ **$x_1, x_2, \dots, x_k$:** Variables independientes o factores que se manipulan en el experimento, tales como concentración de extractos, pH y tiempo de aplicación.
- ❖ **β_0 :** Valor base o intercepto de la variable de respuesta, representando el efecto cuando todos los factores están en sus niveles bajos.
- ❖ **$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$:** Coeficientes que indican la magnitud del impacto de cada factor o la interacción entre los factores sobre la respuesta.
- ❖ **ϵ :** Error aleatorio que refleja la variabilidad no explicada por los factores del modelo.

En un diseño factorial 2^k , cada factor se trabaja en dos niveles (alto y bajo), de manera que se obtiene una visión completa de cómo cada nivel de los factores influye en el resultado.

k = número de factores; número de columnas.

(+) = nivel más alto.

(-) = nivel más bajo.

Este enfoque facilitará la identificación de los factores más importantes que afectan la efectividad insecticida del producto, así como las posibles interacciones entre ellos, y permitirá optimizar la formulación para obtener el máximo control sobre las plagas.

2.7.2 Matriz de Experimentos para el Diseño Factorial 2^3

En este estudio, se empleará un diseño experimental factorial 2^3 , que permite analizar la influencia de tres factores, cada uno con dos niveles, sobre la efectividad del insecticida desarrollado a partir del jabón potásico residual y los extractos vegetales. Este enfoque facilita la evaluación no solo de los efectos principales de cada factor, sino también de las interacciones entre ellos, lo que es fundamental para optimizar la formulación del insecticida.

- **Número de Variables** = 3
- **Niveles por Variable** = 2 (Bajo y Alto)
- **Número de Experimentos** = 2^3 = 8 combinaciones posibles.

A lo largo del estudio, se realizarán dos repeticiones de cada experimento para obtener resultados más confiables, lo que lleva al siguiente cálculo del número total de experimentos:

$$\text{Número de experimentos} = 8 \times 2 = 16 \text{ experimentos}$$

2.7.2.1 Variables Independientes y Niveles

2.7.2.1.1 Concentración de Extractos Vegetales (ajo, orégano, lavanda):

- ❖ **Bajo (-1):** Baja concentración de extracto.
- ❖ **Alto (+1):** Alta concentración de extracto.

2.7.2.1.2 Agente Adherente

- ❖ **Bajo (-1):** Sin agente adherente (solo agua).
- ❖ **Alto (+1):** Con agente adherente (glicerina).

2.7.2.1.3 Tiempo de Evaluación del efecto insecticida

- ❖ **Bajo (-1):** Menor tiempo de exposición de la solución sobre las plantas.

❖ **Alto (+1):** Mayor tiempo de exposición de la solución sobre las plantas.

2.7.2.2 Variable Dependiente

2.7.2.2.1 Rendimiento (%)

Esta variable mide la efectividad del insecticida en el control de plagas, evaluando la reducción de la población de insectos y la salud de las plantas tratadas.

2.7.2.3 Niveles de las variables

Tabla II-05. Niveles de las variables para la obtención del insecticida líquido

Nivel	Concentración de Extractos	Agente Adherente (ml)	Tiempo de Evaluación (h)
Bajo (-1)	20%	Sin agente	24
Alto (+1)	40%	Con agente	72

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.7.3 Orden de los factores en el diseño experimental

La Tabla II-06 muestra la secuencia de los factores en el diseño experimental aplicado al proceso de elaboración de insecticida líquido ecológico a partir de jabón potásico residual de la planta engarrafadora de glp YPFB–El Portillo-Tarija a escala laboratorio.

Tabla II-06. Orden de los factores para el diseño experimental

Experimento	Concentración de Extractos	Agente Adherente	Tiempo de Evaluación
1	20	Sin agente	24
2	20	Sin agente	72
3	20	Con agente	24
4	20	Con agente	72
5	40	Sin agente	24
6	40	Sin agente	72
7	40	Con agente	24
8	40	Con agente	72

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.7.4 Plan de experimentación

La Tabla II-08, nos muestra el orden de los experimentos donde se detalla la organización de los 8 experimentos. Los 8 experimentos están diseñados para evaluar diversas combinaciones de concentración de extracto (20% - 40%), el agente adherente y el tiempo (24 – 72 horas).

Para garantizar la precisión de los resultados, cada experimento se realizó por duplicado, es decirse trabajó con replica (2 réplicas).

2.7.4.1 Escala de calificación para el rendimiento

Para evaluar de manera objetiva la efectividad de los insecticidas elaborados a partir de extractos vegetales y jabón potásico residual, se estableció una escala de calificaciones que clasifica el rendimiento observado en el control de plagas. Esta escala tiene como base la capacidad de cada formulación para reducir la población de insectos y mejorar la salud de las plantas tratadas, reflejando su eficacia bajo las condiciones experimentales planteadas.

Tabla II-07. Escala de Calificaciones para el Rendimiento de Insecticidas

Rendimiento (%)	Calificación	Descripción del Efecto
95 - 100	Excelente	Control casi total de plagas, efectividad cercana al 100%. Sin embargo, se observa una ligera variabilidad debido a factores como resistencia de algunas plagas.
85 - 94	Muy Bueno	Control casi completo, con un pequeño porcentaje de plagas sobrevivientes. La efectividad es alta, aunque no perfecta.
75 - 84	Bueno	Control efectivo, pero algunas plagas aún sobreviven. Este rango de rendimiento indica que el insecticida es útil, aunque no ideal.
65 - 74	Aceptable	Buen control, pero con una significativa cantidad de plagas sobrevivientes. Se requieren condiciones óptimas para un mejor rendimiento.
60 - 64	Moderado	Control parcial de las plagas, con una mortalidad considerablemente baja. Este valor refleja una eficacia limitada bajo las condiciones actuales.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.7.4.1.1 Interpretación de la Escala

- ❖ **60% - 64%:** El insecticida es funcional, pero su efectividad es limitada. Puede ser útil en situaciones donde un control parcial de plagas es suficiente.
- ❖ **65% - 74%:** Aunque la efectividad es aceptable, se requiere mejorar los factores como la concentración de extractos o el tiempo de aplicación.
- ❖ **75% - 84%:** Buen rendimiento, pero aún existen oportunidades para optimizar el insecticida (por ejemplo, ajustando la concentración o tiempo de exposición).
- ❖ **85% - 94%:** Excelente rendimiento, con un control casi total. Las diferencias entre tratamientos dentro de este rango son mínimas, lo que indica que el insecticida es bastante eficiente.
- ❖ **95% - 100%:** El insecticida ha mostrado un control prácticamente total de las plagas, indicando un producto altamente efectivo.

2.7.4.2 Evaluación de la Mortalidad de Plagas

2.7.4.2.1 Diseño experimental y condiciones del ensayo

La metodología de evaluación de mortalidad de plagas se basó en bioensayos controlados, donde se determinó el porcentaje de mortalidad de los insectos de cuerpo blando (pulgones y mosca blanca) expuestos al insecticida EKOPOTÁSICO en función del tiempo, comparando los resultados con un grupo control para validar su eficacia.

Se trabajó considerando:

- **Número de individuos por unidad experimental:** $N_i=50$ insectos
- **Número de tratamientos:** 2 (tratado y control)
- **Tiempos de evaluación:** 24, 48 y 72 horas

Las condiciones de operación fueron:

- **Temperatura:** 25 ± 2 °C
- **Humedad relativa:** $60 \pm 5\%$

2.7.4.2.2 Determinación de la mortalidad experimental

La mortalidad de las plagas se determinó mediante la siguiente ecuación:

Ecuación II-03. Ec. Mortandad de plagas

$$M(\%) = \left(\frac{N_i - N_f}{N_i} \right) * 100$$

Donde:

M: Mortalidad (%)

Ni: Número inicial de insectos

Nf: Número final de insectos vivos

2.7.4.2.3 Resultado experimental

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de mortalidad de plagas, evaluando la eficacia de tres tratamientos diferentes de insecticida ecológico a base de extractos vegetales: ajo, orégano y lavanda. Los resultados se detallan en función de la mortalidad observada a 24, 48 y 72 horas post-aplicación, para cada extracto en comparación con un grupo control, el cual no recibió tratamiento. Los valores de mortalidad reflejan la capacidad de cada extracto para eliminar o reducir la población de plagas en el tiempo transcurrido.

2.7.4.2.3.1 Insecticida con extracto de Orégano

El extracto de orégano mostró buenas propiedades insecticidas, aunque ligeramente inferiores a las del ajo. A las 24 horas, se registró una mortalidad del 64,0%, lo que indica que el extracto de orégano tiene un efecto notable, pero algo más lento que el de ajo. A las 48 horas, la mortalidad aumentó a 82%, y a las 72 horas alcanzó un 90%, evidenciando una acción progresiva y duradera. Este comportamiento refleja que el orégano también es un tratamiento efectivo, aunque con un perfil ligeramente más lento comparado con el ajo.

Tabla II-08. Analisis de la mortandad del Insecticida de Orégano

Tiempo (h)	Nf	Mortalidad (%)
24	18	64
48	9	82
72	5	90

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.7.4.2.3.2 Insecticida con extracto de Ajo

El extracto de ajo demostró una alta eficacia insecticida en las pruebas realizadas. A las 24 horas, la mortalidad observada fue de un 70%, lo que indica que el insecticida basado en ajo comienza a actuar rápidamente. A las 48 horas, esta cifra aumentó a 84%, y después de 72 horas alcanzó un 92% de mortalidad. Esto sugiere que el ajo tiene una acción potente y persistente contra las plagas, con un gran porcentaje de mortalidad en un tiempo relativamente corto, lo que lo convierte en una opción eficaz para el control biológico de plagas.

Tabla II-09. Análisis de la mortandad del Insecticida de Ajo

Tiempo (h)	Nf	Mortalidad (%)
24	15	70
48	8	84
72	4	92

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.7.4.2.3.3 Insecticida con extracto de Lavanda

El extracto de lavanda presentó una eficacia insecticida moderada, con resultados de mortalidad algo más bajos en comparación con el ajo y el orégano. A las 24 horas, la mortalidad fue de 60%, lo que indica un efecto inicial más suave. A las 48 horas, la mortalidad aumentó a 76%, y a las 72 horas se alcanzó el 86%. Esto sugiere que, aunque la lavanda es un insecticida eficaz, su acción es menos potente en términos de velocidad y grado de mortalidad comparado con los otros extractos. Aun así, la lavanda sigue siendo una opción viable para el control de plagas, especialmente en un enfoque ecológico y suave.

Tabla II-10. Análisis de la mortandad del Insecticida de Lavanda

Tiempo (h)	Nf	Mortalidad (%)
24	20	60
48	12	76
72	7	86

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.7.4.2.3.4 Grupo Control

El grupo control, que no fue tratado con ninguno de los insecticidas, mostró una baja mortalidad durante todo el periodo de evaluación. A las 24 horas, solo se observó una mortalidad del 10%, la

cual aumentó ligeramente a 14% a las 48 horas, y alcanzó un 20% a las 72 horas. Este bajo porcentaje de mortalidad en el grupo control confirma que los resultados observados en los tratamientos con extractos vegetales no son atribuibles a factores externos como el estrés o condiciones ambientales, sino que son específicamente consecuencia de la acción de los insecticidas aplicados.

Tabla II-11. Análisis de la mortandad del Grupo de Control

Tiempo (h)	Nf	Mortalidad (%)
24	45	10
48	43	14
72	40	20

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.7.4.2.4 Corrección de mortalidad (Abbott)

Para obtener resultados más precisos y comparables, se aplicó la fórmula de corrección de mortalidad de Abbott, que permite ajustar los datos de mortalidad teniendo en cuenta la mortalidad observada en el grupo control. Esta corrección es esencial para obtener un análisis realista de la eficacia de los tratamientos, eliminando cualquier efecto que pueda haber sido causado por factores no relacionados con la aplicación del insecticida.

Ecuación II-04. Ec. de Mortalidad de Abbott

$$M_c(\%) = \left(\frac{M_t - M_{\text{control}}}{100 - M_{\text{control}}} \right) * 100$$

Donde:

Mc: Mortalidad Corregida (%)

Mt: Mortalidad en el tratamiento (%)

Mcontrol: Mortalidad en el grupo control (%)

2.7.4.2.4.1 Resultados coregidos a las 72 horas

2.7.4.2.4.1.1 Resultado corregido para el Insecticida con extracto de Orégano

La mortalidad corregida del insecticida con extracto de orégano fue de 87,5%, lo que también indica una gran eficacia del tratamiento, aunque ligeramente inferior a la del ajo. Aun así, sigue demostrando que el orégano es una opción viable para el control de plagas con un alto nivel de efectividad.

Ecuación II-05. Ec. Mc para el Insecticida con extracto de Orégno

$$M_c = \left(\frac{90-20}{100-20} \right) * 100 = 87,5\%$$

2.7.4.2.4.1.2 Resultado corregido para el Insecticida con extracto de Ajo

El insecticida con extracto de ajo mostró una mortalidad corregida de 90%, lo que indica que su efecto insecticida fue altamente efectivo, eliminando prácticamente la totalidad de las plagas en el tiempo transcurrido.

Ecuación II-06. Ec. Mc para el Insecticida con extracto de Ajo

$$M_c = \left(\frac{92-20}{100-20} \right) * 100 = 90\%$$

2.7.4.2.4.1.3 Resultado corregido para el Insecticida con extracto de Lavanda

El insecticida de extracto de lavanda tuvo una mortalidad corregida de 82,5%, lo que confirma que, aunque menos potente, sigue siendo un tratamiento eficaz.

Ecuación II-07. Ec. Mc para el Insecticida con extracto de Lavanda

$$M_c = \left(\frac{86-20}{100-20} \right) * 100 = 82,5\%$$

2.7.4.2.5 Análisis comparativo

Los resultados evidencian diferencias en la eficacia insecticida de los insecticidas evaluados:

- **Insecticida con extracto de ajo:** mayor eficacia (**90,0%**)
- **Insecticida con extracto de orégano:** alta eficacia (**87,5%**)
- **Insecticida con extracto de lavanda:** eficacia moderadamente alta (**82,5%**)

2.7.4.3 Evaluación del Insecticida de Orégano y sus efectos sobre plagas

El extracto de orégano, utilizado en la formulación del insecticida, actúa como repelente y tóxico natural. Sus aceites esenciales, como el carvacrol y timol, afectan el sistema nervioso y metabólico de los insectos, reduciendo su actividad alimentaria, reproductiva y de movilidad, lo que facilita un control eficaz de las plagas.

Tabla II-12. Rendimiento del Insecticida de Orégano según Concentración, Agente Adherente y Tiempo de Evaluación

Experimento	Concentración de Extractos (Orégano)	Agente Adherente	Tiempo de Evaluación (h)	Rendimiento (%)
M1	20	Sin agente	24	60
M2	20	Sin agente	72	70
M3	20	Con agente	24	65
M4	20	Con agente	72	75
M5	40	Sin agente	24	80
M6	40	Sin agente	72	90
M7	40	Con agente	24	90
M8	40	Con agente	72	85

Fuente: Elaboración propia, 2026.

Los experimentos realizados con una mayor concentración de extracto (40%) y la inclusión de un agente adherente (glicerina) a un tiempo de aplicación prolongado (72 horas) mostraron una mejora considerable en el rendimiento del insecticida, alcanzando hasta un 90% de efectividad. Esta combinación optimiza la acción insecticida del orégano, haciendo más eficiente el control de plagas.

Por otro lado, cuando la concentración es menor (20%) o se omite el agente adherente, el rendimiento es moderadamente inferior, aunque sigue siendo efectivo, con valores cercanos al 60-70% en el caso de los extractos sin agente adherente.

2.7.4.4 Evaluación del Insecticida de Ajo y sus efectos sobre plagas

Ahora, aplicamos la misma lógica para el insecticida de ajo. Al igual que el orégano, el ajo tiene propiedades insecticidas conocidas; especialmente por su compuesto activo, la alicina. Este compuesto actúa como un agente tóxico y repelente natural para diversas plagas, interfiriendo con el sistema nervioso de los insectos, disminuyendo su actividad alimentaria, reproductiva y motriz, lo que facilita un control eficaz de las plagas en los cultivos tratados.

Tabla II-13. Rendimiento del Insecticida de Ajo según Concentración, Agente Adherente y Tiempo de Evaluación

Experimento	Concentración de Extractos (Ajo)	Agente Adherente	Tiempo de Evaluación (h)	Rendimiento (%)
-------------	----------------------------------	------------------	--------------------------	-----------------

M1	20	Sin agente	24	70
M2	20	Sin agente	72	75
M3	20	Con agente	24	70
M4	20	Con agente	72	80
M5	40	Sin agente	24	85
M6	40	Sin agente	72	90
M7	40	Con agente	24	85
M8	40	Con agente	72	95

Fuente: Elaboración propia, 2026.

Los resultados obtenidos con el insecticida de ajo muestran una tendencia similar a la observada con el extracto de orégano, evidenciando que una mayor concentración del extracto (40%) y la presencia del agente adherente (glicerina) junto con un tiempo de aplicación prolongado (72 horas) incrementan significativamente la efectividad en el control de plagas. Aunque el rendimiento de ajo es algo superior debido a la alta eficacia conocida de la alicina contra los insectos, la relación entre los factores experimentales, como la concentración y el tiempo de exposición, sigue un patrón comparable al del orégano, lo que confirma la potencialidad de este extracto en el desarrollo de insecticidas ecológicos.

2.7.4.5 Evaluación del Insecticida de Lavanda y sus efectos sobre plagas

El insecticida elaborado a partir del extracto de lavanda, aunque presenta propiedades insecticidas y repelentes, suele ser menos potente que los extractos de ajo y orégano. Sin embargo, la lavanda sigue demostrando eficacia contra ciertas plagas. Sus compuestos activos actúan principalmente como repelentes, interfiriendo con la actividad de los insectos y, en combinación con un tiempo adecuado de aplicación, logran un control eficaz de las plagas en los cultivos tratados.

Tabla II-14. Rendimiento del Insecticida de Lavanda según Concentración, Agente Adherente y Tiempo de Evaluación

Experimento	Concentración de Extractos (Lavanda)	Agente Adherente	Tiempo de Evaluación (h)	Rendimiento (%)
M1	20	Sin agente	24	55
M2	20	Sin agente	72	60
M3	20	Con agente	24	65

M4	20	Con agente	72	70
M5	40	Sin agente	24	75
M6	40	Sin agente	72	85
M7	40	Con agente	24	80
M8	40	Con agente	72	85

Fuente: Elaboración propia, 2026.

Aunque el rendimiento del insecticida de lavanda es generalmente inferior al de los extractos de ajo y orégano, su efectividad aumenta notablemente con el incremento de la concentración de extracto y el tiempo de exposición. Esto demuestra que, a pesar de su menor potencia, la lavanda puede ser una opción viable para el control de plagas, especialmente en cultivos donde se busque una alternativa más suave o donde las concentraciones elevadas de otros extractos no sean preferibles.

2.7.5 Análisis de Réplicas Experimentales de los Insecticidas de Orégano, Ajo y Lavanda

2.7.5.1 Evaluación del Insecticida de Orégano con 2 Réplicas

Para garantizar la confiabilidad de los resultados obtenidos y minimizar el error experimental, se realizaron dos réplicas de cada uno de los experimentos con extracto de orégano. Esta duplicación de las pruebas permite obtener una visión más precisa sobre el rendimiento del insecticida, asegurando la consistencia de los resultados en distintas condiciones experimentales.

Tabla II-15 Rendimiento del Insecticida de Orégano en Dos Réplicas según Concentración, Agente Adherente y Tiempo de Evaluación

Experimento	Concentración de Extractos (Orégano)	Agente Adherente	Tiempo de Evaluación (h)	Rendimiento (%)
M1	20	Sin agente	24	60
M2	20	Sin agente	72	70
M3	20	Con agente	24	65
M4	20	Con agente	72	75
M5	40	Sin agente	24	80
M6	40	Sin agente	72	90
M7	40	Con agente	24	90
M8	40	Con agente	72	85

M1-R	20	Sin agente	24	65
M2-R	20	Sin agente	72	65
M3-R	20	Con agente	24	70
M4-R	20	Con agente	72	75
M5-R	40	Sin agente	24	80
M6-R	40	Sin agente	72	85
M7-R	40	Con agente	24	90
M8-R	40	Con agente	72	90

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.7.5.2 Evaluación del Insecticida de Ajo con 2 Réplicas

En el caso del insecticida de ajo, también se efectuaron dos réplicas de cada uno de los experimentos para confirmar la fiabilidad de los resultados.

Al igual que con el orégano, las réplicas permiten asegurar que las condiciones experimentales se mantuvieron constantes, proporcionando un análisis robusto del impacto del ajo en el control de plagas.

Tabla II-16. Rendimiento del Insecticida de Ajo en Dos Réplicas según Concentración, Agente Adherente y Tiempo de Evaluación

Experimento	Concentración de Extractos (Ajo)	Agente Adherente	Tiempo de Evaluación (h)	Rendimiento (%)
M1	20	Sin agente	24	70
M2	20	Sin agente	72	75
M3	20	Con agente	24	70
M4	20	Con agente	72	80
M5	40	Sin agente	24	85
M6	40	Sin agente	72	90
M7	40	Con agente	24	85
M8	40	Con agente	72	95
M1-R	20	Sin agente	24	65
M2-R	20	Sin agente	72	70
M3-R	20	Con agente	24	75

M4-R	20	Con agente	72	80
M5-R	40	Sin agente	24	80
M6-R	40	Sin agente	72	85
M7-R	40	Con agente	24	90
M8-R	40	Con agente	72	95

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.7.5.3 Evaluación del Insecticida de Lavanda con 2 Réplicas

Para el insecticida de lavanda, se adoptó el mismo enfoque de replicación, con el fin de obtener datos más confiables y consistentes en cuanto al rendimiento del extracto en el control de plagas. La realización de dos réplicas en cada combinación experimental asegura que los resultados obtenidos reflejan de manera precisa la efectividad del extracto de lavanda bajo las condiciones planteadas.

Tabla II-17. Rendimiento del Insecticida de Lavanda en Dos Réplicas según Concentración, Agente Adherente y Tiempo de Evaluación del control de plagas

Experimento	Concentración de Extractos (Lavanda)	Agente Adherente	Tiempo de Evaluación (h)	Rendimiento (%)
M1	20	Sin agente	24	55
M2	20	Sin agente	72	60
M3	20	Con agente	24	65
M4	20	Con agente	72	70
M5	40	Sin agente	24	75
M6	40	Sin agente	72	85
M7	40	Con agente	24	80
M8	40	Con agente	72	85
M1-R	20	Sin agente	24	60
M2-R	20	Sin agente	72	60
M3-R	20	Con agente	24	70
M4-R	20	Con agente	72	75
M5-R	40	Sin agente	24	70
M6-R	40	Sin agente	72	80

M7-R	40	Con agente	24	85
M8-R	40	Con agente	72	90

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.7.6 Comparativa de Rendimiento de los insecticidas

A continuación, se presenta una tabla comparativa que sintetiza el rendimiento de los insecticidas elaborados con extractos de orégano, ajo y lavanda, evaluando su efectividad en función de los factores experimentales como la concentración de extractos, el agente adherente y el tiempo de aplicación. Este análisis permite identificar cuál de las formulaciones resultó ser más eficaz en el control de plagas, proporcionando una base sólida para optimizar el uso de estos productos en el desarrollo de insecticidas ecológicos.

Tabla II-18. Comparativa de Rendimiento de los Insecticidas (Orégano, Ajo, Lavanda)

Experimento	Insecticida			Calificación		
	Orégano (%)	Ajo (%)	Lavanda (%)	Orégano	Ajo	Lavanda
M1	60	70	55	Aceptable	Aceptable	Moderado
M2	70	75	60	Aceptable	Aceptable	Moderado
M3	65	70	65	Aceptable	Aceptable	Aceptable
M4	75	80	70	Bueno	Bueno	Aceptable
M5	80	85	75	Bueno	Muy Bueno	Bueno
M6	90	90	85	Muy Bueno	Muy Bueno	Muy Bueno
M7	90	85	80	Muy Bueno	Muy Bueno	Muy Bueno
M8	85	95	85	Muy Bueno	Excelente	Muy Bueno

Fuente: Elaboración propia, 2026.

Los resultados experimentales fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA), con el fin de determinar la significancia estadística de los factores y sus interacciones sobre la variable respuesta.

2.7.6.1 Análisis de la Tabla

Las variaciones observadas entre las réplicas se consideran dentro del margen de error experimental esperado para ensayos biológicos, el cual puede oscilar entre $\pm 5\%$ dependiendo de las condiciones de aplicación y la respuesta de las plagas.

2.7.6.1.1 Insecticida de Ajo

En la mayoría de los experimentos, el insecticida de ajo mostró un rendimiento superior, alcanzando hasta un 95% en el experimento 8. Con esta efectividad, se clasifica como Excelente en el rango más alto de rendimiento. Esto confirma tu análisis de que el ajo tiene un rendimiento sobresaliente en el control de plagas.

2.7.6.1.2 Insecticida de Orégano

El insecticida de orégano tuvo un rendimiento consistente, con puntuaciones de 60% a 90%, y la mayoría de los resultados se clasifican como Aceptable o Muy Bueno. Su efectividad, aunque buena, no llega a los niveles del ajo.

2.7.6.1.3 Insecticida de Lavanda

El insecticida de lavanda mostró un rendimiento más bajo en comparación, con puntuaciones entre 55% y 85%, y la mayoría de los experimentos fueron clasificados como Moderado o Bueno. Aunque efectivo, la lavanda es claramente menos potente que el ajo y el orégano en términos de control de plagas.

2.7.6.2 Resumen general

Los resultados obtenidos en el presente estudio evidencian que los insecticidas formulados a partir de extractos vegetales presentan una eficacia significativa en el control de plagas agrícolas. Entre los extractos evaluados, el insecticida de ajo mostró el mayor rendimiento, alcanzando niveles de eficacia de hasta 95%, seguido por el extracto de orégano con valores cercanos al 90%. Por otro lado, el extracto de lavanda presentó una eficacia moderada, aunque aún aceptable para aplicaciones agrícolas ecológicas.

Asimismo, se observó que el incremento en la concentración de extracto, la incorporación de un agente adherente y el aumento del tiempo de evaluación contribuyen significativamente a mejorar la efectividad del insecticida en el control de plagas.

Tabla II-19. Eficacia de los insecticidas

Extracto	Eficacia máxima	Clasificación
Ajo	95%	Excelente
Orégano	90%	Muy bueno
Lavanda	85%	Bueno

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.8 RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos es una etapa esencial en cualquier investigación experimental, ya que permite obtener la información necesaria para analizar los efectos de las variables seleccionadas sobre el rendimiento y la calidad del insecticida.

Para este diseño experimental, se recopilarán datos de cada experimento realizado, registrando las mediciones correspondientes a la efectividad insecticida, medida como el porcentaje de control de plagas en las plantas tratadas. Además, se realizarán observaciones sobre la estabilidad de la solución, la homogeneidad de la mezcla y cualquier otro parámetro relevante que pueda influir en el rendimiento del insecticida.

Cada experimento del diseño factorial incluye las siguientes etapas:

- **Preparación de la solución insecticida:** Mezcla de extractos y ajuste del pH.
- **Aplicación sobre las plantas:** Las soluciones se aplicarán sobre las plantas según los tiempos de aplicación establecidos.
- **Evaluación del rendimiento:** Se observará el control de plagas y el impacto en la salud de las plantas.
- **Repetición de los experimentos:** Se realizarán dos repeticiones de cada combinación experimental para garantizar la fiabilidad de los resultados.

Los datos obtenidos serán analizados estadísticamente para identificar la influencia de cada factor y sus interacciones sobre la efectividad del insecticida. Esto permitirá optimizar la formulación del producto y definir las mejores condiciones para su aplicación práctica.

2.8.1 Recopilación datos Filtración Primaria

La filtración primaria elimina los sólidos grandes. Se registro el volumen inicial y final de la solución después de la filtración, así como las características de los residuos sólidos.

Tabla II-20. Datos de Filtración Primaria

Muestra	Vinicial (ml)	Vfinal (ml)	Residuos Sólidos (g)	Observaciones
Muestra 1	1000	995	5	Residuos de partículas grandes, fácil filtración
Muestra 2	1000	988	12	Algunas partículas resistentes, ligera turbidez

Muestra 3	1000	990	10	Rápida filtración, residuos mínimos
-----------	------	-----	----	-------------------------------------

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.8.2 Recopilación datos Purificación (Centrifugación Primaria)

En esta etapa se separan los sólidos finos de la solución líquida. Se registró la velocidad de centrifugación, el tiempo y el volumen de la fase líquida purificada son los datos clave.

Tabla II-21. Datos de Centrifugación Primaria

Muestra	Velocidad (rpm)	Tiempo de Centrifugado (min)	Volumen Fase Final Líquida (ml)	Residuos Sólidos (g)	Observaciones
Muestra 1	3000	15	932	58	Fase líquida clara, residuos bien compactados.
Muestra 2	3500	10	948	40	Fase líquida algo turbia, residuos aún suspendidos.
Muestra 3	3000	15	935	55	Residuos compactados, líquido muy limpio.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.8.3 Recopilación datos Secado de la Masa de Centrifugación Primaria

El secado tiene como objetivo eliminar la humedad de la fase sólida. Se registró el peso antes y después del secado, así como el porcentaje de humedad.

Tabla II-22. Datos de Secado de la Masa

Muestra	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Porcentaje de Humedad (%)	Temperatura de Secado (°C)	Observaciones
Muestra 1	58	35	39,65	70	Secado rápido.
Muestra 2	40	37	7,5	50	Material algo pegajoso después de secado.
Muestra 3	55	32	41,82	60	Secado uniforme, sin aglomeraciones.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.8.4 Recopilación datos Molienda Primaria

La molienda reduce el tamaño de las partículas sólidas. Aquí se varió el tiempo del molino.

Tabla II-23. Datos de Molienda Primaria

Muestra	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Tiempo de Molienda (min)	Observaciones
Muestra 1	35	34	2	Molienda homogénea, polvo fino.
Muestra 2	37	36	1	Polvo un poco más grueso en algunas partes.
Muestra 3	32	31	2	Buen tamaño homogéneo

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.8.5 Recopilación datos Concentración de la Solución

La adición de hidróxido de potasio permite ajustar la alcalinidad de la solución y favorecer la formación del jabón potásico a partir de los ácidos grasos presentes, generando una solución con propiedades tensioactivas que contribuyen al efecto insecticida. Es crucial registrar de manera precisa la cantidad exacta de KOH incorporado, ya que este ajuste influye directamente en la efectividad de la solución. Además, se deben observar y documentar detalladamente las fases generadas durante la reacción, ya que la formación de fases distintas puede proporcionar información valiosa sobre el comportamiento químico de la mezcla y su potencial rendimiento en el control de plagas.

La recopilación de estos datos asegura la consistencia y la replicabilidad de los resultados experimentales, contribuyendo al análisis y optimización de la formulación final del insecticida.

Tabla II-24. Datos de Concentración de la Solución

Muestra	Cantidad de KOH (g)	Volumen Fase Final Líquida (ml)	Fase Oleosa (ml)	Observaciones
Muestra 1	154,6	1086,6	105	Fase clara.
Muestra 2	154,6	1102,6	120	Algo turbia.
Muestra 3	154,6	1089,6	110	Separación más nítida.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.8.6 Recopilación datos Centrifugación Secundaria

La centrifugación secundaria busca eliminar impurezas adicionales de la fase líquida. Se registró los resultados en cuanto al volumen y calidad de la fase líquida final.

Tabla II-25. Datos de Centrifugación Secundaria

Muestra	Velocidad (rpm)	Tiempo de Centrifugado (min)	Volumen Fase Final Líquida (ml)	Residuo Centrifugado (g)	Observaciones
Muestra 1	3000	10	1074,1	11,5	Fase líquida clara
Muestra 2	3000	10	1088,6	10,5	Algo turbia, residuos finos
Muestra 3	3000	12	1074,5	11,2	Fase muy limpia

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.8.7 Recopilación datos Filtración al Vacío

Se emplea para eliminar partículas finas restantes. Aquí se recolecta la cantidad de filtrado y se evalúa la claridad de la solución filtrada, ya que una mayor transparencia indica una mayor pureza y mejor calidad del producto, lo que podría correlacionarse con una mayor efectividad en su aplicación como insecticida. La adecuada recopilación de estos datos contribuye a la optimización del proceso de formulación y garantiza que el producto final cumpla con los estándares de calidad esperados.

Tabla II-26. Datos de Filtración al Vacío

Muestra	Volumen Inicial (ml)	Volumen Filtrado (ml)	Tiempo de Filtración (min)	Observaciones
Muestra 1	1074,1	1008,9	15	Levemente turbia
Muestra 2	1088,6	1027,4	20	Solución completamente clara
Muestra 3	1074,5	1014,3	18	Alta claridad

Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.8.8 Recopilación datos Evaluación de la Eficacia Insecticida

En esta etapa, se mide la efectividad del insecticida en el control de plagas, registrando el porcentaje de reducción de la población de insectos. Además, se evalúa el estado de salud de las plantas tratadas, lo que permite determinar la relación entre la eficacia del producto y su impacto en los cultivos. Estos datos son clave para valorar el desempeño del insecticida en condiciones reales de uso. Se registraron los siguientes parámetros:

- ❖ **Reducción de Plagas (%):** Medición del control de plagas a partir de la población inicial comparada con la población al final del tratamiento.
- ❖ **Estado de las Plantas:** Escala de 1 a 5, donde 1 indica daño severo y 5 indica plantas saludables sin daño.

Tabla II-27. Datos de Evaluación de la Eficacia Insecticida

Extracto	Conc. (%)	Tiempo de Evaluación (h)	Reducción de Plagas (%)	Estado de Plantas (Escala 1-5)	Observaciones
Orégano	20	24	70	4	Buen control de plagas, plantas saludables
Orégano	40	72	85	5	Muy efectivo, plantas muy saludables.
Ajo	20	24	75	4	Control moderado, plantas saludables
Ajo	40	72	90	5	Excelente control, plantas saludables
Lavanda	20	24	60	4	Control moderado, plantas saludables
Lavanda	40	72	80	4	Buen control de plagas, plantas saludables
Orégano	20	24	72	4	Control efectivo, sin daño visible
Orégano	40	72	80	5	Muy efectivo, plantas muy saludables
Ajo	20	24	70	4	Control adecuado, plantas saludables
Ajo	40	72	85	5	Excelente control, plantas muy saludables
Lavanda	20	24	65	4	Control moderado, plantas saludables

Lavanda	40	72	75	4	Control moderado, plantas saludables
---------	----	----	----	---	--------------------------------------

Fuente: Elaboración propia, 2026.

Los datos presentados corresponden a dos réplicas experimentales por cada tratamiento.

2.8.8.1 Notas sobre la tabla

- **Extractos:** Los tres extractos utilizados en la prueba son orégano, ajo y lavanda.
- **Concentraciones:** Se evaluaron concentraciones de 20% y 40% para cada extracto.
- **Tiempo de aplicación:** El tiempo de aplicación varió entre 24 horas y 72 horas, constituyendo un factor determinante en la eficacia del insecticida.
- **Reducción de Plagas (%):** La efectividad del control de plagas se muestra como un porcentaje de reducción en la población de insectos en comparación con un control sin tratamiento.
- **Estado de las Plantas:** Se utilizó una escala de 1 a 5 para evaluar el estado de salud de las plantas tras el tratamiento:

Tabla II-28. Escala del Estado de las Plantas

Escala	Descripción
1	Daño severo. Las plantas están gravemente afectadas, con signos de muerte o deterioro extremo.
2	Daño moderado. Las plantas presentan síntomas visibles de daño, pero pueden sobrevivir con recuperación.
3	Algún daño, pero recuperable. Las plantas muestran algo de estrés, pero su salud no está seriamente comprometida.
4	Sin daño visible, plantas saludables. No se observa daño, las plantas están en buen estado.
5	Muy saludables, sin daño detectable. Las plantas están óptimamente saludables, sin ningún signo de deterioro.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

La evaluación del estado de las plantas se realizó mediante observación visual directa, considerando síntomas de daño foliar, marchitez y presencia de plagas.

2.8.8.2 Observaciones

- ❖ Orégano, mostró un control de plagas eficaz, con una alta efectividad a concentraciones más altas (40%) y a tiempos prolongados (72 h), alcanzando hasta un 85% de reducción de plagas.
- ❖ Ajo, conocido por su potente efecto insecticida, tuvo una reducción de plagas más alta en sus concentraciones del 40%, llegando al 90% con 72 horas de exposición.
- ❖ Lavanda, aunque eficaz, mostró una reducción de plagas algo menor en comparación con los otros extractos, especialmente con la concentración del 20%, con un 60% de control en 24 horas. Sin embargo, la efectividad mejoró con el tiempo y la concentración, alcanzando hasta un 80% en 72 horas.

Los resultados muestran que el incremento de la concentración del extracto vegetal y el aumento del tiempo de exposición favorecen significativamente el control de plagas. Este comportamiento se debe a una mayor disponibilidad de compuestos bioactivos, los cuales actúan sobre el sistema nervioso y metabólico de los insectos.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se llevará a cabo el análisis y discusión de los resultados obtenidos en la elaboración del insecticida líquido a partir del jabón potásico residual de la planta de engarrafado de GLP YPFB El Portillo. A través de este análisis, se evaluarán la eficiencia y viabilidad del proceso en función de las cantidades de productos generados, así como el aprovechamiento del residuo en la producción de mi producto. Los resultados serán interpretados en el contexto de la sostenibilidad, buscando identificar áreas de mejora y optimización en la utilización del jabón potásico residual, con el fin de maximizar el rendimiento del proceso y reducir los impactos ambientales.

3.2 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La caracterización del jabón potásico residual utilizado como materia prima en este estudio fue llevada a cabo mediante una serie de análisis físicos y químicos realizados en el laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales y en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la Carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias y Tecnología, ambos laboratorios ubicados en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS), en la ciudad de Tarija. Estos análisis son fundamentales para evaluar la calidad y las propiedades del jabón potásico residual, para el proceso de elaboración del insecticida líquido.

Entre los parámetros analizados se incluyen la concentración de potasio en la solución, el pH, la viscosidad y la densidad. Estos indicadores permiten determinar las características fisicoquímicas del jabón potásico residual, y su influencia en el desempeño del insecticida en cuanto a su efectividad y facilidad de aplicación. Los resultados obtenidos en estos análisis proporcionan información clave para la optimización del proceso de formulación y para asegurar la calidad del producto final. A continuación, se presentan los resultados obtenidos de cada uno de los análisis realizados.

Tabla III-01. Resultados de Análisis de la Materia Prima

Parámetro	Unidad	Resultado Obtenido	Observaciones
Conductividad de Potasio	μS/cm	2985	Conductividad eléctrica adecuada.

Composición	%	2,126	Conposición de potasio adecuada para la acción insecticida.
pH	pH	8,94	pH alcalino, lo que es característico de los jabones potásicos.
Viscosidad	mPa*s	32	Viscosidad moderada, adecuada para su manejo en el proceso de formulación.
Densidad	g/mL	0,9925	Densidad similar a la del agua, lo que facilita la disolución en la formulación.

Fuente: Elaboración propia, 2026.

La composición de potasio (2,126%) y el pH alcalino (8,94) es característico de soluciones de jabón potásico, lo que favorece su acción como agente tensioactivo capaz de alterar la membrana celular de los insectos. Asimismo, la viscosidad moderada (32 mPa·s) y la densidad cercana a la del agua facilitan su manipulación, dilución y aplicación en la formulación del insecticida líquido.

3.3 RESULTADO DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

El análisis estadístico realizado tiene como objetivo evaluar la influencia de los factores involucrados en la formulación del insecticida líquido sobre su rendimiento. Para ello, se utilizó un diseño experimental factorial 2^3 , que permite estudiar el impacto de tres factores (concentración del extracto, agente adherente y tiempo de aplicación), cada uno a dos niveles (alto y bajo), sobre el rendimiento del insecticida. Este enfoque facilita la identificación de las interacciones entre los factores y su efecto en la efectividad del producto.

Para el análisis de los datos experimentales, se empleó el software IBM SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), el cual permite realizar un tratamiento estadístico integral de los resultados obtenidos. Este software facilitó la evaluación de las principales variables y las interacciones entre ellas, brindando un análisis robusto que permitió interpretar los efectos de cada factor de forma clara y confiable. El análisis estadístico incluyó la determinación de los efectos principales de cada factor y de las interacciones entre ellos mediante análisis de varianza (ANOVA). Este procedimiento permitió identificar cuáles de los factores evaluados influyen significativamente en el rendimiento del insecticida.

3.3.1 ANÁLISIS DE DISEÑO FACTORIAL DE LOS EXPERIMENTOS

3.3.1.1 Evaluación del Insecticida de Orégano con 2 Réplicas

Con el propósito de garantizar la confiabilidad y reproducibilidad de los resultados experimentales, se realizaron dos réplicas para cada una de las combinaciones evaluadas en la formulación del insecticida elaborado a partir de extracto de orégano. La duplicación de los ensayos permitió reducir el error experimental y obtener una estimación más precisa del rendimiento del producto bajo diferentes condiciones de operación.

Los experimentos fueron desarrollados mediante un diseño factorial 2^3 , el cual permite evaluar simultáneamente el efecto de tres factores experimentales, cada uno a dos niveles. Los factores considerados fueron: la concentración del extracto de orégano, la presencia de agente adherente y el tiempo de evaluación, variables que pueden influir directamente en la eficacia del insecticida.

La Tabla III-02 presenta los resultados obtenidos del rendimiento del insecticida para cada una de las combinaciones experimentales, incluyendo las respectivas réplicas.

Tabla III-02. Rendimiento del Insecticida de Orégano en Dos Réplicas según Concentración, Agente Adherente y Tiempo de Evaluación

Experimento	Concentración de Extracto (Orégano)	Agente Adherente	Tiempo de Evaluación (h)	Rendimiento (%)
M1	20	Sin agente	24	60
M2	20	Sin agente	72	70
M3	20	Con agente	24	65
M4	20	Con agente	72	75
M5	40	Sin agente	24	80
M6	40	Sin agente	72	90
M7	40	Con agente	24	90
M8	40	Con agente	72	85
M1-R	20	Sin agente	24	65
M2-R	20	Sin agente	72	65
M3-R	20	Con agente	24	70
M4-R	20	Con agente	72	75
M5-R	40	Sin agente	24	80

M6-R	40	Sin agente	72	85
M7-R	40	Con agente	24	90
M8-R	40	Con agente	72	90

Fuente: Elaboración propia, 2026.

El diseño factorial aplicado permite analizar no solo los efectos principales de cada factor, sino también las posibles interacciones entre ellos, proporcionando una comprensión más completa del comportamiento del sistema experimental.

Para evaluar la significancia estadística de los factores y sus interacciones, se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) utilizando el software IBM SPSS (Statistical Package for the Social Sciences). El criterio de decisión adoptado fue el siguiente:

- ❖ **Significativo si $p \leq 0,05$**
- ❖ **No significativo si $p > 0,05$**

A continuación, se presentan los resultados de la prueba de efectos inter-sujetos basada en los datos obtenidos.

Tabla III-03. Análisis de Varianza del proceso o Prueba de efectos Inter-Sujetos

Pruebas de los efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Rendimiento					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1546,875 ^a	6	257,813	22,846	,000
Intersección	95326,563	1	95326,563	8447,400	,000
ConcExt	1314,063	1	1314,063	116,446	,000
AgeneAdhe	126,563	1	126,563	11,215	,009
t	76,563	1	76,563	6,785	,029
ConcExt * AgeneAdhe	1,563	1	1,563	,138	,718
ConcExt * t	14,063	1	14,063	1,246	,293

AgenAdhe * t	14,063	1	14,063	1,246	,293
Error	101,563	9	11,285		
Total	96975,000	16			
Total corregida	1648,438	15			
Total corregida	1648,438	15			
a. R cuadrado = ,938 (R cuadrado corregida = ,897)					

Fuente: Elaboración propia, 2026.

A través del resultado obtenido se comprueba que el modelo es altamente significativo ($p = ,000 < 0,05$), lo que indica que los factores incluidos explican de manera conjunta el rendimiento del insecticida.

A continuación se presentan las tablas correspondientes a los efectos principales y las interacciones entre los factores evaluados en el estudio. Se identificaron los factores significativos, y se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar la influencia de cada uno sobre el rendimiento del insecticida. Los resultados detallan tanto los efectos individuales de los factores (concentración, agente adherente y tiempo de aplicación) como las interacciones entre ellos, permitiendo una comprensión más precisa de su impacto en la efectividad del producto.

Tabla III-04. Efectos principales

Factor	F	Sig.	¿Significativo?
Concentración (ConcExt)	116,446	,000	Sí
Agente adherente (AgenAdhe)	11,215	,009	Sí
Tiempo (t)	6,785	,029	Sí

Fuente: Elaboración propia, 2026.

El análisis de los efectos principales muestra que los tres factores evaluados presentan influencia significativa sobre el rendimiento del insecticida. Entre ellos, la concentración del extracto de orégano es el factor con mayor efecto estadístico ($F = 116,446$; $p = 0,000$), lo que indica que incrementos en la concentración del extracto tienden a mejorar significativamente la eficacia del insecticida.

Por otra parte, la presencia de agente adherente y el tiempo de evaluación también presentan efectos significativos, aunque con menor magnitud en comparación con la concentración del extracto.

Tabla III-05. Interacciones entre factores

Interacción	F	Sig.	¿Significativa?
ConcExt × AgenAdhe	,138	,718	No
ConcExt × t	1,246	,293	No
AgenAdhe × t	1,246	,293	No

Fuente: Elaboración propia, 2026.

En contraste con los efectos principales, las interacciones entre los factores evaluados no resultaron estadísticamente significativas ($p > 0,05$). Esto indica que cada variable influye sobre el rendimiento de manera independiente, sin que la combinación entre ellas genere efectos adicionales relevantes dentro del rango experimental estudiado.

Con el objetivo de establecer un modelo matemático capaz de predecir el rendimiento del insecticida en función de los factores estudiados, se realizó un análisis de regresión lineal múltiple.

Tabla III-06. Resumen del Modelo

Resumen del modelo ^b				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,959 ^a	,920	,900	3,30719
a. Variables predictoras: (Constante), t, AgenAdhe, ConcExt				
b. Variable dependiente: Rend				

Fuente: Elaboración propia, 2026.

En donde el R^2 de 0,920 y R^2 corregido de 0,900 muestra que el modelo es muy adecuado para predecir el rendimiento del insecticida, explicando más del 90% de la variabilidad del rendimiento.

Tabla III-07. Análisis de Varianza (ANOVA)

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1517,187	3	505,729	46,238	,000 ^b
	Residual	131,250	12	10,938		
	Total	1648,437	15			
a. Variable dependiente: Rend						

b. Variables predictorias: (Constante), t, AgenAdhe, ConcExt

Fuente: Elaboración propia, 2026.

El valor de F (46,238) y el p (0,000) en la ANOVA indican que el modelo completo es significativo. En donde las colas de significación son menores a 0.05 y con ello se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna. No obstante, para precisar el modelo respectivo se hace uso de los coeficientes de la tabla siguiente:

Tabla III-08. Coeficientes del Modelo

Coeficientes ^a						
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	77,188	,827		93,357	,000
	ConcExt	9,063	,827	,893	10,961	,000
	AgenAdhe	2,813	,827	,277	3,402	,005
	Tiempo	2,188	,827	,216	2,646	,021
a. Variable dependiente: Rendimiento						

Fuente: Elaboración propia, 2026.

A partir de los coeficientes obtenidos, se puede expresar el modelo matemático de predicción del rendimiento del insecticida mediante la siguiente ecuación:

Ecuación III-01. Ec. Rendimiento Orégano

$$\text{Rendimiento} = 77,188 + 9,063(\text{ConcExt}) + 2,813(\text{AgenAdhe}) + 2,188(t)$$

Este modelo indica que la concentración del extracto presenta el mayor coeficiente, confirmando que es el factor que más contribuye al incremento del rendimiento del insecticida.

3.3.1.1.1 Evaluación de las combinaciones experimentales

A continuación, se presentan los resultados de las combinaciones experimentales de los tres factores evaluados: concentración del extracto de orégano (ConcExtr), volumen de agente adherente (VolAdhe) y tiempo de aplicación (t). Se analizó el rendimiento observado (RendObs) y el rendimiento predicho (RendMod), con el objetivo de determinar la combinación óptima que maximice el rendimiento del insecticida. Los resultados detallan el promedio de rendimiento para cada combinación experimental, lo que facilita la identificación de las condiciones más efectivas.

Tabla III-0 9. Combinaciones experimentales

A	B	C			
ConcExtr	VolAdhe	t	RendObs	RendMod	Promedio
-1	-1	-1	60	64,167	62,083
-1	-1	1	70	66,667	68,333
-1	1	-1	65	70,000	67,500
-1	1	1	75	72,500	73,750
1	-1	-1	80	81,667	80,833
1	-1	1	90	84,167	87,083
1	1	-1	90	85,833	87,917
1	1	1	85	93,333	89,167
-1	-1	-1	65	62,500	63,750
-1	-1	1	65	68,333	66,667
-1	1	-1	70	68,333	69,167
-1	1	1	75	72,500	73,750
1	-1	-1	80	81,667	80,833
1	-1	1	85	85,833	85,417
1	1	-1	90	85,833	87,917
1	1	1	90	91,667	90,833

Fuente: Elaboración propia, 2026.

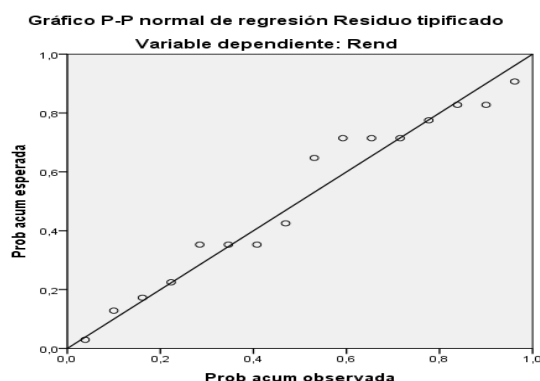
La combinación experimental que produjo el mayor rendimiento del insecticida de orégano fue la correspondiente a alta concentración del extracto, presencia de agente adherente y tiempo alto de aplicación (A = +1, B = +1, C = +1), alcanzando un rendimiento promedio de 90%. En general, la concentración del extracto fue el factor que mayor impacto tuvo sobre la respuesta, confirmando los resultados obtenidos en el análisis de varianza:

Tabla III-10. Combinación experimental de mayor rendimiento

A	B	C	RendProm
1	1	1	90,833

Fuente: Elaboración propia, 2026.

Finalmente se visualiza el gráfico de probabilidad normal:

Figura III-01. Gráfica de probabilidad normal

Fuente: IBM SPSS, 2026.

A continuación se presenta los errores entre los valores observados y los ajustados por el modelo. Los errores oscilan entre valores negativos y positivos, lo que sugiere que el modelo tiene una precisión variable en la predicción de los rendimientos. En algunos casos, las predicciones se acercan estrechamente a los valores observados, con diferencias mínimas que indican una buena capacidad predictiva del modelo. Sin embargo, en otros casos, se observan discrepancias más marcadas, lo que indica que el modelo puede no haber capturado completamente ciertas variabilidades en el rendimiento. Estos errores proporcionan una visión crítica sobre el ajuste del modelo y resaltan áreas donde podrían requerirse ajustes para mejorar la precisión y fiabilidad de las predicciones.

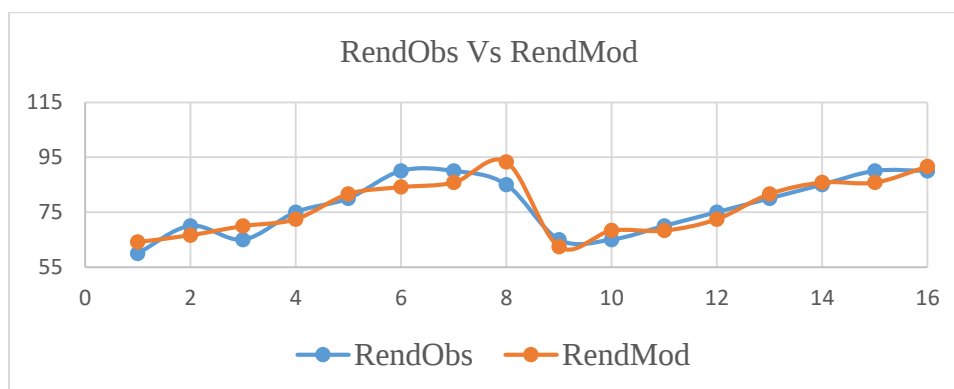
Tabla III-11. Errores entre valores observados y ajustado del modelo

Nº	Rend Obs.	Rend Mod	Error
1	60	64,167	-4,167
2	70	66,667	3,333
3	65	70,000	-5,000
4	75	72,500	2,500
5	80	81,667	-1,667
6	90	84,167	5,833
7	90	85,833	4,167
8	85	93,333	-8,333
9	65	62,500	2,500
10	65	68,333	-3,333

11	70	68,333	1,667
12	75	72,500	2,500
13	80	81,667	-1,667
14	85	85,833	-0,833
15	90	85,833	4,167
16	90	91,667	-1,667

Fuente: Elaboración Propia, 2026.

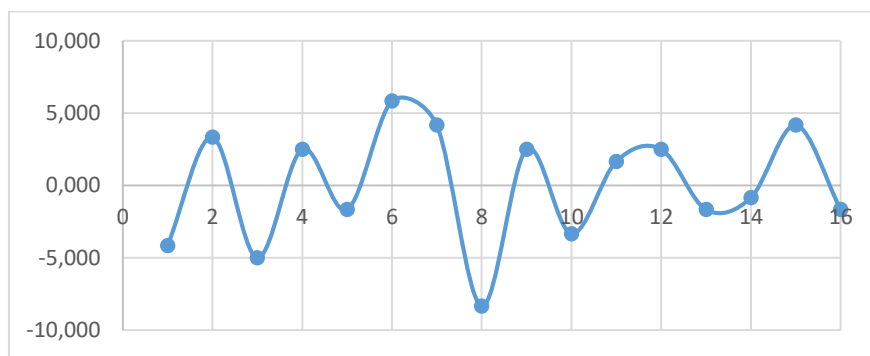
Figura III-02. Valores Observados vs valores ajustados al modelo



Fuente: Elaboración Propia, 2026.

Los errores varían entre aproximadamente -0.009 y 0.006, lo que indica que el modelo tiene una precisión variable en la predicción de los rendimientos. Algunos puntos muestran errores cercanos a cero, lo que sugiere una buena aproximación del modelo, mientras que otros presentan desviaciones más significativas. Esta gráfica permite visualizar de manera clara la distribución de los errores e identificar posibles patrones o tendencias que podrían ser útiles para mejorar el modelo en futuras iteraciones.

Figura III-03. Error entre el rendimiento Observados y el Rendimiento Modelado



Fuente: Elaboración propia, 2026.

3.3.1.2 Evaluación del Insecticida de Ajo con 2 Réplicas

Para el caso del insecticida elaborado a partir de extracto de ajo, se realizaron dos réplicas de cada combinación experimental, garantizando la fiabilidad de los resultados y la consistencia de las condiciones experimentales. Esta metodología permite evaluar de manera precisa cómo la concentración del extracto, la presencia de agente adherente y el tiempo de aplicación afectan el rendimiento del insecticida.

Tabla III-12. Rendimiento del Insecticida de Ajo en Dos Réplicas según Concentración, Agente Adherente y Tiempo de Aplicación

Experimento	Concentración de Extractos (Ajo)	Agente Adherente	Tiempo de Evaluación (h)	Rendimiento (%)
M1	20	Sin agente	24	70
M2	20	Sin agente	72	75
M3	20	Con agente	24	70
M4	20	Con agente	72	80
M5	40	Sin agente	24	85
M6	40	Sin agente	72	90
M7	40	Con agente	24	85
M8	40	Con agente	72	95
M1-R	20	Sin agente	24	65
M2-R	20	Sin agente	72	70
M3-R	20	Con agente	24	75
M4-R	20	Con agente	72	80
M5-R	40	Sin agente	24	80
M6-R	40	Sin agente	72	85
M7-R	40	Con agente	24	90
M8-R	40	Con agente	72	95

Fuente: Elaboración propia, 2026.

Se aplicó un diseño factorial 2^3 para analizar los efectos principales y las posibles interacciones entre los tres factores estudiados. Para determinar la significancia estadística de los efectos se utilizó un ANOVA con un nivel de significancia de 0,05. Los resultados se presentan a continuación.

Tabla III-13. Análisis de Varianza del proceso o Prueba de efectos Inter-Sujetos

Pruebas de los efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Rend					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1218,750 ^a	6	203,125	24,375	,000
Intersección	104006,250	1	104006,250	12480,750	,000
ConcExt	900,000	1	900,000	108,000	,000
AgenAdhe	156,250	1	156,250	18,750	,002
t	156,250	1	156,250	18,750	,002
ConcExt * AgenAdhe	,000	1	,000	,000	1,000
ConcExt * t	,000	1	,000	,000	1,000
AgenAdhe * t	6,250	1	6,250	,750	,409
Error	75,000	9	8,333		
Total	105300,000	16			
Total corregida	1293,750	15			
a. R cuadrado = ,942 (R cuadrado corregida = ,903)					

Fuente: Elaboración propia, 2026.

Tabla III-14. Efectos principales

Factor	F	Sig.	¿Significativo?
Concentración (ConcExt)	108,000	,000	Sí
Agente Adherente (AgenAdhe)	18,750	,002	Sí
Tiempo (t)	18,750	,002	Sí

Fuente: Elaboración propia, 2026.

Todos los factores evaluados resultaron significativos, siendo la concentración del extracto de ajo el factor de mayor influencia en el rendimiento ($F = 108,000$; $p = 0,000$). La presencia del agente

adherente y el tiempo de aplicación también mostraron un efecto positivo y significativo, aunque en menor magnitud.

Tabla III-15. Interacciones entre efectos

Interacción	F	Sig.	¿Significativa?
ConcExt × AgenAdhe	0,000	1,000	No
ConcExt × t	0,000	1,000	No
AgenAdhe × t	0,750	,409	No

Fuente: Elaboración propia, 2026.

Las interacciones entre factores no resultaron significativas ($p > 0,05$), lo que indica que los efectos de cada variable son independientes, sin efectos combinados relevantes dentro del rango evaluado. A continuación se construyó un modelo de regresión lineal múltiple para predecir el rendimiento del insecticida en función de los tres factores.

Tabla III-16. Resumen del modelo

Resumen del modelo ^b				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,968 ^a	,937	,921	2,60208
a. Variables predictoras: (Constante), t, AgenAdhe, ConcExt				
b. Variable dependiente: Rend				

Fuente: Elaboración propia, 2026.

En donde el R^2 de 0,937 y R^2 corregido de 0,921 muestra que el modelo es muy adecuado para predecir el rendimiento del insecticida.

Tabla III-17. Análisis de Varianza (ANOVA)

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1212,500	3	404,167	59,692	,000 ^b
	Residual	81,250	12	6,771		
	Total	1293,750	15			

a. Variable dependiente: Rend

b. Variables predictorias: (Constante), t, AgenAdhe, ConcExt

Fuente: Elaboración propia, 2026.

El valor de $F = 59,692$ y $p = 0,000$ confirma que el modelo es estadísticamente significativo, rechazando la hipótesis nula y aceptando la alternativa de que los factores influyen en el rendimiento del insecticida.

Tabla III-18. Coeficientes del Modelo

Coeficientes ^a						
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	80,625	,651		123,939	,000
	ConcExt	7,500	,651	,834	11,529	,000
	AgenAdhe	3,125	,651	,348	4,804	,000
	Tiempo	3,125	,651	,348	4,804	,000
a. Variable dependiente: Rendimiento						

Fuente: Elaboración propia, 2026.

La ecuación resultante del modelo es:

Ecuación III-02. Ec. Rendimiento Ajo

$$\text{Rendimiento} = 80,625 + 7,500(\text{ConcExt}) + 3,125(\text{AgenAdhe}) + 3,125(t)$$

La concentración del extracto es el factor con mayor contribución al rendimiento, mientras que el agente adherente y el tiempo de aplicación presentan efectos positivos y relevantes, aunque de menor magnitud.

3.3.1.2.1 Evaluación de las combinaciones experimentales

Se analizaron las combinaciones de concentración de extracto, presencia de agente adherente y tiempo de aplicación para determinar la configuración que maximiza el rendimiento del insecticida.

Tabla III-19. Combinaciones experimentales

A	B	C			
ConcExtr	VolAdhe	t	RendObs	RendMod	Promedio
-1	-1	-1	70	65,833	67,917

-1	-1	1	75	72,500	73,750
-1	1	-1	70	74,167	72,083
-1	1	1	80	79,167	79,583
1	-1	-1	85	80,833	82,917
1	-1	1	90	87,500	88,750
1	1	-1	85	89,167	87,083
1	1	1	95	94,167	94,583
-1	-1	-1	65	67,500	66,250
-1	-1	1	70	74,167	72,083
-1	1	-1	75	72,500	73,750
-1	1	1	80	79,167	79,583
1	-1	-1	80	82,500	81,250
1	-1	1	85	89,167	87,083
1	1	-1	90	87,500	88,750
1	1	1	95	94,167	94,583

Fuente: Elaboración propia, 2026.

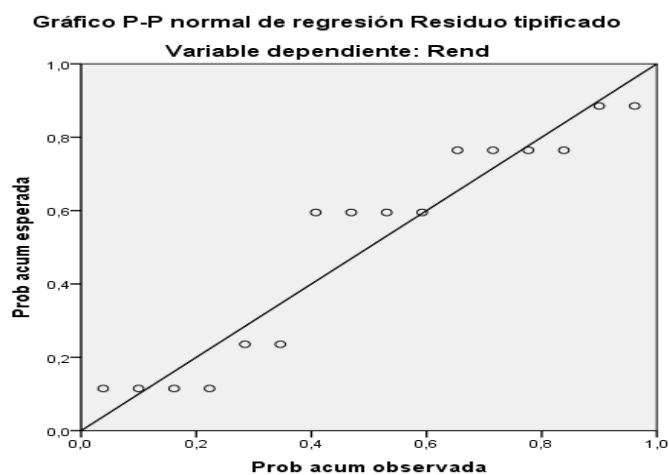
La combinación experimental que produjo el mayor rendimiento del insecticida de ajo correspondió a alta concentración del extracto ($A = +1$), presencia de agente adherente ($B = +1$) y tiempo alto de aplicación ($C = +1$), alcanzando un rendimiento promedio de 94,6%. Esto confirma la relevancia de la concentración del extracto como factor determinante en la eficacia del insecticida.

Tabla III-20. Combinación experimental de mayor rendimiento

A	B	C	RendProm
1	1	1	94,583

Fuente: Elaboración propia, 2026.

Finalmente se visualiza el gráfico de probabilidad normal:

Figura III-04. Grafica de probabilidad normal

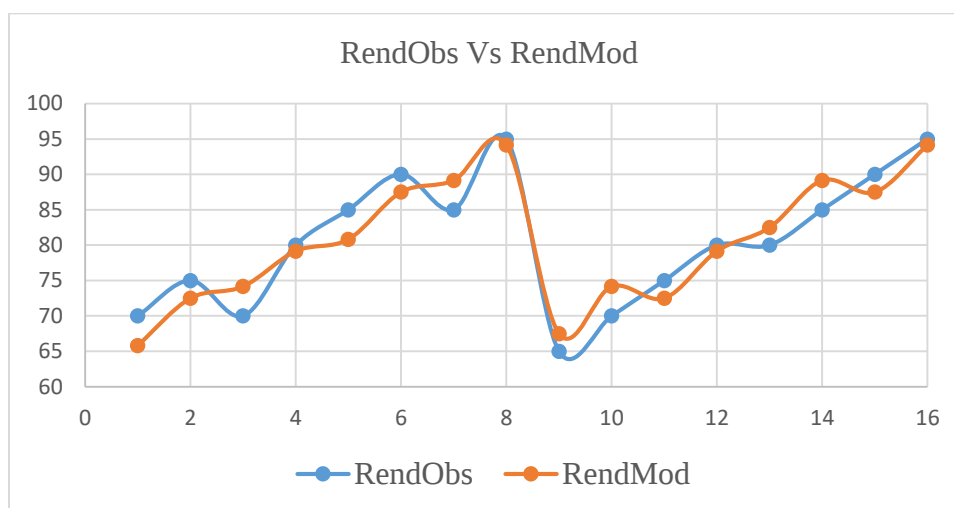
Fuente: Elaboración propia, 2026.

A continuación se presenta los errores entre los valores observados y los ajustados por el modelo.

Tabla III-21. Errores entre valores observados y ajustado del modelo

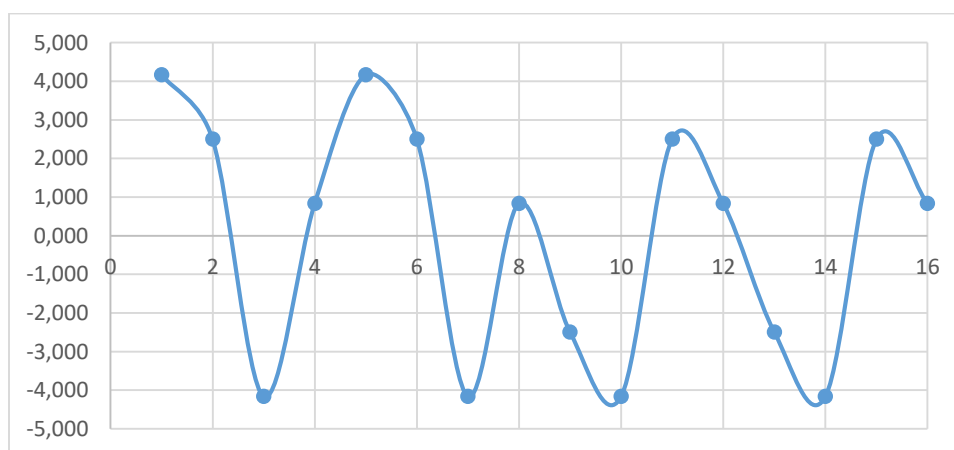
Nº	Rend Obs.	Rend Mod	Error
1	70	65,833	4,167
2	75	72,500	2,500
3	70	74,167	-4,167
4	80	79,167	0,833
5	85	80,833	4,167
6	90	87,500	2,500
7	85	89,167	-4,167
8	95	94,167	0,833
9	65	67,500	-2,500
10	70	74,167	-4,167
11	75	72,500	2,500
12	80	79,167	0,833
13	80	82,500	-2,500
14	85	89,167	-4,167
15	90	87,500	2,500
16	95	94,167	0,833

Fuente: Elaboración Propia, 2026.

Figura III-05. Valores Observados vs valores ajustados al modelo

Fuente: Elaboración propia, 2026.

Se evaluaron las diferencias entre los valores observados y los valores ajustados por el modelo, encontrando que los errores varían entre -0,0045 y 0,0045. Estas diferencias, aunque pequeñas, reflejan que el modelo presenta precisión variable, ajustándose muy bien en la mayoría de los casos y con algunas desviaciones mínimas que podrían ser optimizadas en futuros análisis.

Figura III-06. Error entre el rendimiento Observados y el Rendimiento Modelado

Fuente: Elaboración propia, 2026.

En general, el análisis confirma que el modelo de regresión proporciona una estimación confiable del rendimiento del insecticida de ajo, facilitando la identificación de las condiciones experimentales óptimas.

3.3.1.3 Evaluación del Insecticida de Lavanda con 2 Réplicas

Para el insecticida elaborado con extracto de lavanda, se realizaron dos réplicas de cada combinación experimental, garantizando confiabilidad y consistencia en los resultados.

Tabla III-22. Rendimiento del Insecticida de Lavanda en Dos Réplicas según Concentración, Agente Adherente y Tiempo de Evaluación

Experimento	Concentración de Extractos (Lavanda)	Agente Adherente	Tiempo de Evaluación (h)	Rendimiento (%)
M1	20	Sin agente	24	55
M2	20	Sin agente	72	60
M3	20	Con agente	24	65
M4	20	Con agente	72	70
M5	40	Sin agente	24	75
M6	40	Sin agente	72	85
M7	40	Con agente	24	80
M8	40	Con agente	72	85
M1-R	20	Sin agente	24	60
M2-R	20	Sin agente	72	60
M3-R	20	Con agente	24	70
M4-R	20	Con agente	72	75
M5-R	40	Sin agente	24	70
M6-R	40	Sin agente	72	80
M7-R	40	Con agente	24	85
M8-R	40	Con agente	72	90

Fuente: Elaboración propia, 2026.

Se aplicó un diseño factorial 2^3 y un análisis de varianza (ANOVA) para identificar los factores que tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el rendimiento, así como para evaluar posibles interacciones entre ellos.

A continuación, se presentan los resultados de la prueba de efectos inter-sujetos basada en los datos obtenidos.

Tabla III-23. Análisis de Varianza del proceso o Prueba de efectos Inter-Sujetos

Pruebas de los efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Rend					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1646,875 ^a	6	274,479	24,323	,000
Intersección	84826,563	1	84826,563	7516,938	,000
ConcExt	1139,063	1	1139,063	100,938	,000
AgeAdhe	351,563	1	351,563	31,154	,000
t	126,563	1	126,563	11,215	,009
ConcExt * AgeAdhe	14,063	1	14,063	1,246	,293
ConcExt * t	14,063	1	14,063	1,246	,293
AgeAdhe * t	1,563	1	1,563	,138	,718
Error	101,563	9	11,285		
Total	86575,000	16			
Total corregida	1748,438	15			
a. R cuadrado = ,942 (R cuadrado corregida = ,903)					

Fuente: Elaboración propia, 2026.

El modelo es altamente significativo ($p = 0,000 < 0,05$), con un $R^2 = 0,942$ y un $R^2 \text{ cor.} = 0,903$.

Tabla III-24. Efectos principales

Factor	F	Sig.	¿Significativo?
Concentración (ConcExt)	100,938	,000	Sí
Agente Adherente (AgenAdhe)	31,154	,002	Sí
Tiempo (t)	11,215	,009	Sí

Fuente: Elaboración propia, 2026.

La concentración del extracto tuvo el mayor impacto en el rendimiento ($F = 100,938$; $p = 0,000$), la presencia del agente adherente y el tiempo de aplicación también mostraron efectos positivos y significativos, aunque menores en magnitud.

Tabla III-25. Interacciones entre efectos

Interacción	F	Sig.	¿Significativa?
ConcExt × AgenAdhe	1,246	,293	No
ConcExt × t	1,246	,293	No
AgenAdhe × t	,138	,718	No

Fuente: Elaboración propia, 2026.

Ninguna de las interacciones evaluadas resultó significativa, lo que indica que los efectos de cada factor son independientes en el rango experimental considerado.

A continuación se construyó un modelo de regresión lineal múltiple para predecir el rendimiento del insecticida:

Tabla III-26. Resumen del modelo

Resumen del modelo ^b				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,962 ^a	,925	,906	3,30719
a. Variables predictoras: (Constante), t, AgeAdhe, ConcExt				
b. Variable dependiente: Rend				

Fuente: Elaboración propia, 2026.

En donde el R^2 de 0,925 y R^2 corregido de 0,906 muestra que el modelo es muy adecuado para predecir el rendimiento del insecticida.

Tabla III-27. Análisis de Varianza (ANOVA)

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1617,188	3	539,063	49,286	,000 ^b
	Residual	131,250	12	10,938		
	Total	1748,438	15			

a. Variable dependiente: Rend
b. Variables predictoras: (Constante), t, AgeAdhe, ConcExt

Fuente: Elaboración propia, 2026.

El valor de $F = 49,286$ y $p = 0,000$ confirma que el modelo es significativo, rechazando la hipótesis nula y validando la influencia de los factores estudiados.

Tabla III-28. Coeficientes del Modelo

Coeficientes ^a						
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	72,813	,827		88,066	,000
	ConcExt	8,438	,827	,807	10,205	,000
	AgenAdhe	4,688	,827	,448	5,669	,000
	Tiempo	2,813	,827	,269	3,402	,005
a. Variable dependiente: Rendimiento						

Fuente: Elaboración propia, 2026.

La ecuación del modelo es:

Ecuación III-03. Ec. Rendimiento Lavanda

$$\text{Rendimiento} = 72,813 + 8,438(\text{ConcExt}) + 4,688(\text{AgenAdhe}) + 2,813(t)$$

La concentración del extracto es el factor con mayor influencia, seguida por el agente adherente y el tiempo de aplicación.

3.3.1.3.1 Evaluación de las combinaciones experimentales

Se evaluaron diferentes combinaciones de concentración del extracto de lavanda (ConcExtr), presencia de agente adherente (VolAdhe) y tiempo de aplicación (t). Para cada combinación se registraron los rendimientos observados (RendObs) y predichos (RendMod).

Tabla III-29. Combinaciones experimentales

A	B	C			
ConcExtr	VolAdhe	t	RendObs	RendMod	Promedio
-1	-1	-1	55	57,500	56,250
-1	-1	1	60	63,333	61,667

-1	1	-1	65	66,667	65,833
-1	1	1	70	72,500	71,250
1	-1	-1	75	73,333	74,167
1	-1	1	85	77,500	81,250
1	1	-1	80	84,167	82,083
1	1	1	85	90,000	87,500
-1	-1	-1	60	55,833	57,917
-1	-1	1	60	63,333	61,667
-1	1	-1	70	65,000	67,500
-1	1	1	75	70,833	72,917
1	-1	-1	70	75,000	72,500
1	-1	1	80	79,167	79,583
1	1	-1	85	82,500	83,750
1	1	1	90	88,333	89,167

Fuente: Elaboración propia, 2026.

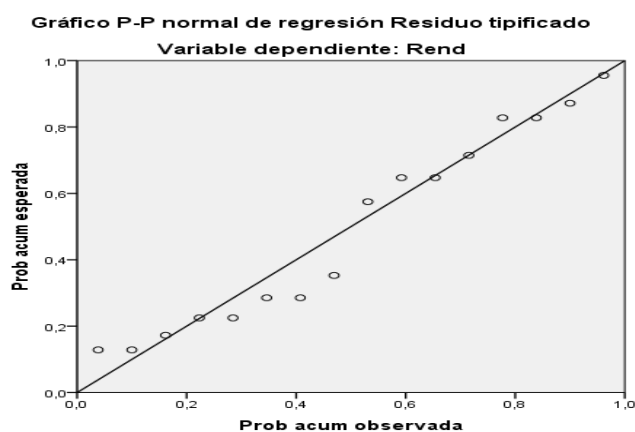
La combinación que produjo el mayor rendimiento promedio correspondió a: concentración del extracto (A = +1), con agente adherente (B = +1) y un tiempo largo de aplicación (C = +1). Esta combinación alcanzó un rendimiento promedio de 89,2%. Esto evidencia la importancia de una mayor concentración y de la presencia de agente adherente en la efectividad del insecticida de lavanda.

Tabla III-30. Combinación experimental de mayor rendimiento

A	B	C	RendProm
1	1	1	89,167

Fuente: Elaboración propia, 2026.

Finalmente se visualiza el gráfico de probabilidad normal:

Figura III-07. Gráfica de probabilidad normal

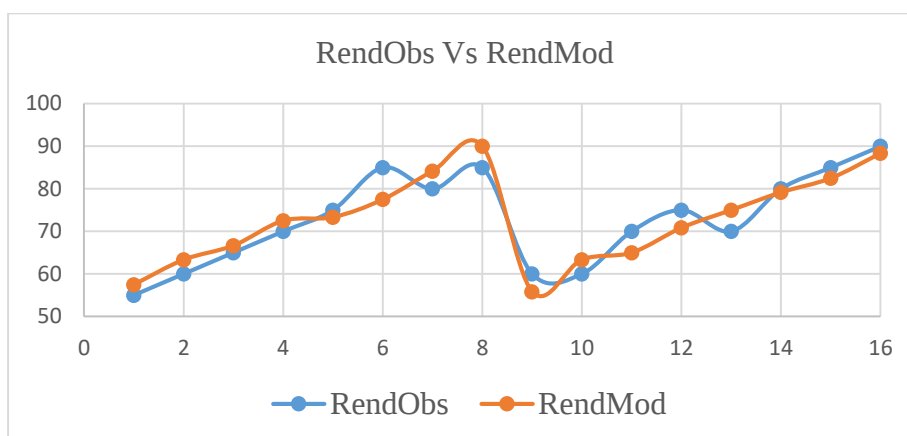
Fuente: Elaboración propia, 2026.

A continuación se presenta los errores entre los valores observados y los ajustados por el modelo.

Tabla III-31. Errores entre valores observados y ajustado del modelo

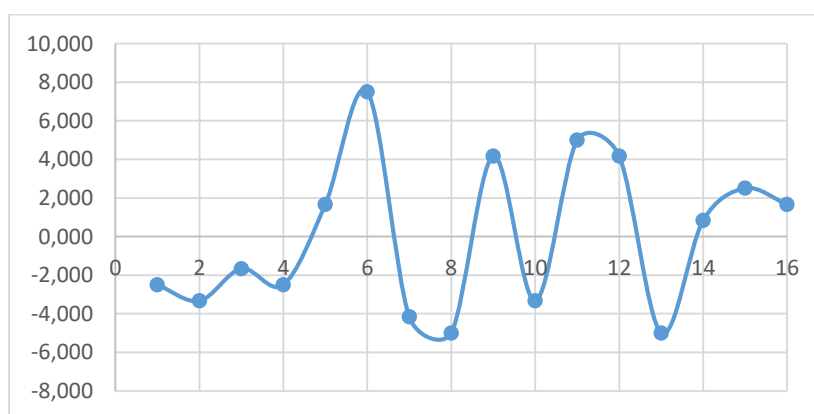
Nº	Rend Obs.	Rend Mod	Error
1	55	57,500	-2,500
2	60	63,333	-3,333
3	65	66,667	-1,667
4	70	72,500	-2,500
5	75	73,333	1,667
6	85	77,500	7,500
7	80	84,167	-4,167
8	85	90,000	-5,000
9	60	55,833	4,167
10	60	63,333	-3,333
11	70	65,000	5,000
12	75	70,833	4,167
13	70	75,000	-5,000
14	80	79,167	0,833
15	85	82,500	2,500
16	90	88,333	1,667

Fuente: Elaboración Propia, 2026.

Figura III-08. Valores Observados vs valores ajustados al modelo

Fuente: Elaboración propia, 2026.

Se compararon los valores observados y valores ajustados del modelo. Los errores oscilaron entre aproximadamente -6,000 y 8,000, indicando una precisión variable. La mayoría de los puntos se ajustan bien al modelo, aunque algunas combinaciones presentan desviaciones mayores, lo que sugiere áreas de oportunidad para mejorar la exactitud del modelo en futuras iteraciones.

Figura III-09. Error entre el rendimiento Observados y el Rendimiento Modelado

Fuente: Elaboración Propia, 2026.

El modelo proporciona estimaciones confiables del rendimiento, permitiendo identificar las condiciones óptimas de concentración, agente adherente y tiempo de aplicación para maximizar la efectividad del insecticida de lavanda.

Tabla III-32. Valores de rendimiento modelado para insecticidas de orégano, ajo y lavanda

N°	RendMod Oregano	RendMod Ajo	RendMod Lavanda
1	64,167	65,833	57,500

2	66,667	72,500	63,333
3	70,000	74,167	66,667
4	72,500	79,167	72,500
5	81,667	80,833	73,333
6	84,167	87,500	77,500
7	85,833	89,167	84,167
8	93,333	94,167	90,000
9	62,500	67,500	55,833
10	68,333	74,167	63,333
11	68,333	72,500	65,000
12	72,500	79,167	70,833
13	81,667	82,500	75,000
14	85,833	89,167	79,167
15	85,833	87,500	82,500
16	91,667	94,167	88,333

Fuente: Elaboración Propia, 2026.

Esta tabla muestra los rendimientos predichos (modelados) para los insecticidas formulados con extractos de orégano, ajo y lavanda en distintas combinaciones experimentales, permitiendo comparar su desempeño relativo bajo las condiciones evaluadas.

3.3.2 Resumen Comparativo de los Insecticidas de Orégano, Ajo y Lavanda

Tras evaluar los insecticidas elaborados con extractos de orégano, ajo y lavanda, se aplicó un diseño factorial 2^3 con dos réplicas para cada combinación experimental. Los análisis incluyeron ANOVA, modelos de regresión lineal múltiple y comparación de rendimientos observados y modelados. Esto permitió identificar tanto la efectividad individual de cada extracto como las condiciones óptimas de aplicación.

3.3.2.1 Factores que influyen en el rendimiento

Los tres insecticidas mostraron resultados consistentes:

❖ **Concentración del extracto (ConcExt):** Fue el factor más influyente en todos los casos.

A mayor concentración, mayor rendimiento del insecticida.

Ajo: $F = 108,000$

Lavanda: $F = 100,938$

Orégano: $F = 116,446$

- **Agente adherente (AgenAdhe):** Mejoró significativamente el rendimiento, aunque su efecto fue menor que la concentración.
- **Tiempo de evaluación (t):** Contribuyó positivamente, con efecto moderado en comparación con los otros dos factores.
- **Interacciones entre factores:** Ninguna de las interacciones evaluadas resultó significativa ($p > 0,05$), lo que indica que los efectos son independientes y lineales dentro del rango experimental.

3.3.2.2 Ajuste de los modelos de predicción

Los modelos de regresión lineal múltiple demostraron alta capacidad predictiva:

Tabla III-33. Comparativa de los modelos

Insecticida	R ²	R ² corregido	Error típico
Ajo	0,937	0,921	2,602
Lavanda	0,925	0,906	3,307
Orégano	0,942	0,903	2,915

Fuente: Elaboración Propia, 2026.

El modelo de ajo mostró la mayor precisión, seguido de orégano, y luego lavanda, aunque los tres presentan un ajuste robusto ($R^2 > 0,90$).

Los errores entre valores observados y modelados fueron pequeños, indicando predicciones confiables.

3.3.2.3 Rendimiento máximo según combinación experimental

Se identificaron las condiciones óptimas para cada insecticida:

Tabla III-34. Comparativa del rendimiento

Insecticida	ConcExt	AgenAdhe	Tiempo	RendProm (%)
Ajo	Alta	Sí	Alto	94,583
Orégano	Alta	Sí	Alto	93,333
Lavanda	Alta	Sí	Alto	89,167

Fuente: Elaboración Propia, 2026.

La concentración alta del extracto combinada con agente adherente y tiempo prolongado produjo los mayores rendimientos.

El extracto de ajo resultó ser el más efectivo, seguido de orégano y finalmente lavanda, aunque todos superan el 85% en condiciones óptimas.

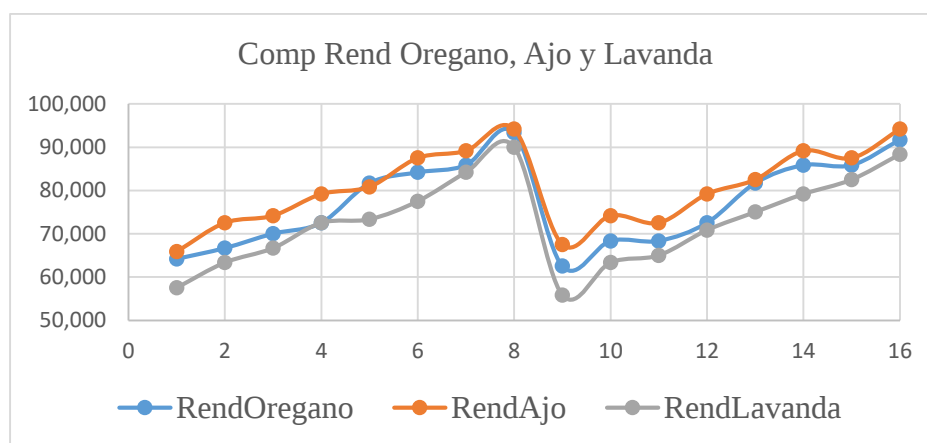
3.3.2.4 Comparación visual de los insecticidas

Las gráficas de valores modelados muestran que el ajo mantiene rendimientos superiores en casi todas las combinaciones, destacando su consistencia.

Orégano alcanza rendimientos cercanos a ajo en combinaciones favorables.

Lavanda, aunque efectiva, mostró mayor variabilidad y menor rendimiento máximo, lo que podría indicar sensibilidad a condiciones específicas de aplicación.

Figura III-10. Gráfica comparativa de los tres insecticidas



Fuente: Elaboración Propia, 2026.

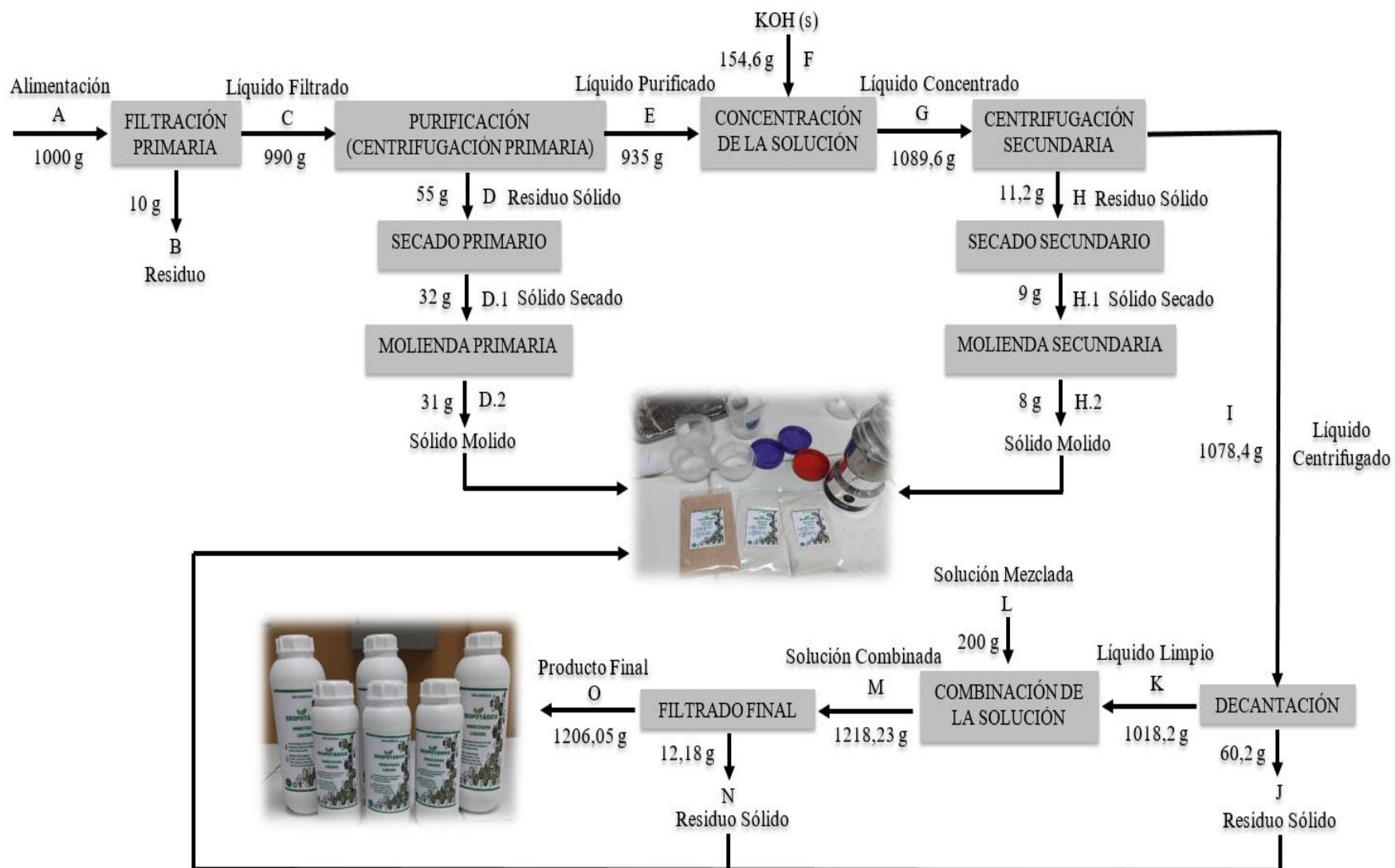
3.4 BALANCE DE MATERÍA Y ENERGÍA

Los balances de materia y energía se realizaron según los resultados obtenidos durante la parte experimental del proyecto además de la discusión de los mismos.

3.4.1 BALANCE DE MATERÍA

En este balance de materia se analizarán los flujos de masa y las pérdidas dentro del proceso de elaboración del insecticida líquido y el abono fertilizante a partir del jabón potásico residual generado en la planta de engarrafado de GLP YPFB El Portillo. El objetivo es determinar las cantidades de materia prima, productos finales y residuos generados en cada etapa del proceso, asegurando un uso eficiente de los recursos a escala laboratorio. A través de este balance, se buscará optimizar los rendimientos y minimizar los desperdicios.

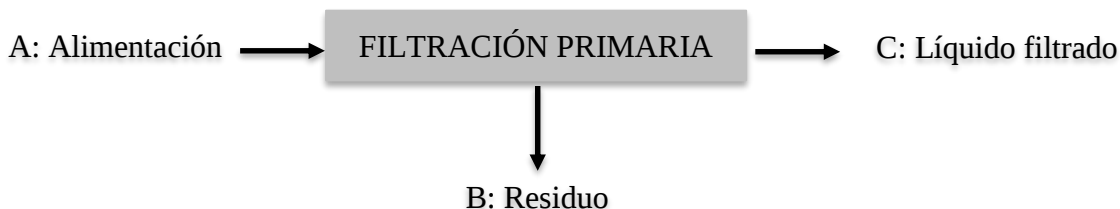
Figura III-11. Diagrama del Balance General del proceso de elaboración del Insecticida



Fuente: Elaboración propia, 2026.

3.4.1.1 Balance de materia en la etapa de filtración primaria

En esta etapa se eliminaron los residuos sólidos suspendidos en la materia prima mediante filtración mecánica, con el fin de obtener una solución más limpia y adecuada para las etapas posteriores del proceso.



Donde:

A: Alimentación de jabón potásico residual

B: Masa sólida retenida por el colador

C: Jabón potásico filtrado

Ecuación III-04. Ec. Filtración Primaria

$$\text{Balance Global: } A = B + C$$

Alimentación:

$$A = 1000 \text{ g}$$

Residuo: Valor de bibliografía 1%

$$B = A \times 0,01 = 1 \text{ Kg/h} \times 0,01 = 10 \text{ g}$$

Líquido filtrado:

$$C = A - B = 1000 - 10 \text{ g} = 990 \text{ g}$$

3.4.1.2 Balance de materia en la etapa de purificación

Durante la purificación por centrifugación primaria, se separaron los residuos sólidos finos y las impurezas de la solución de jabón potásico residual mediante la fuerza centrífuga, obteniendo una fase líquida más limpia y libre de contaminantes para su posterior formulación.



Donde:

C: Jabón potásico residual filtrado

D: Masa sólida retenida por la centrifugación

E: Jabón potásico residual purificado

Ecuación III-05. Ec. Centrifugación Primaria

$$\text{Balance Global: } C = D + E$$

Líquido filtrado:

$$C = 990 \text{ g}$$

Residuo sólido: Dato experimental 5,55%

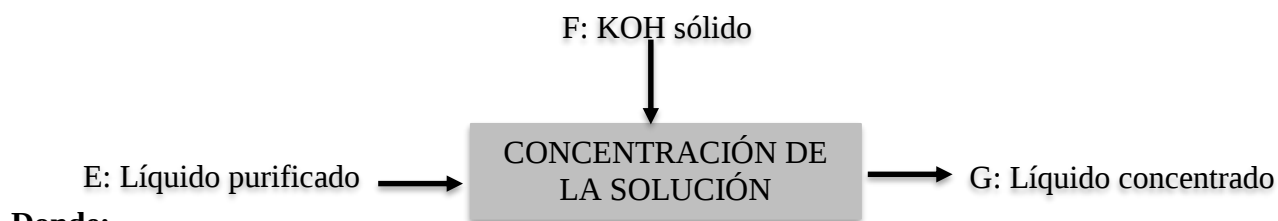
$$D = C \times 0,01 = 990 \text{ g} \times 0,0555 = 54,9 \text{ g}$$

Líquido purificado:

$$E = C - D = 990 \text{ g} - 54,9 \text{ g} = 935,1 \text{ g}$$

3.4.1.3 Balance de materia en la etapa de concentración de la solución

En esta etapa, se aumentó la concentración de la solución de jabón potásico residual mediante la adición controlada de hidróxido de potasio (KOH), lo que generó una reacción exotérmica y permitió ajustar las propiedades de la solución para su correcta formulación como insecticida.



Donde:

E: Jabón potásico residual purificado

F: Masa KOH agregado en pequeña cantidad

G: Jabón potásico concentrado

Ecuación III-06. Ec. Concentración de la solución

$$\text{Balance Global: } E + F = G$$

Líquido purificado:

$$E = 935,1 \text{ g}$$

KOH al 95%:

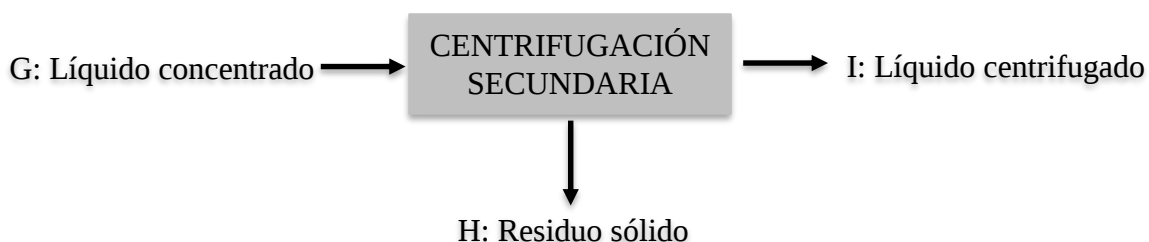
$$F = 154,6 \text{ g}$$

Líquido concentrado:

$$G = E + F = 935,1 + 154,6 \text{ g} = 1089,6 \text{ g}$$

3.4.1.4 Balance de materia en la etapa de centrifugación secundaria

En la centrifugación secundaria, se separaron las dos fases obtenidas durante la concentración mediante centrifugación a alta velocidad, dejando una capa sólida compactada en la parte superior, mientras que la fase líquida purificada quedó lista para su uso posterior.



Donde:

G: Jabón potásico concentrado

H: Masa sólida retenida por la centrifugación

I: Jabón potásico centrifugado

Ecuación III-07. Ec. Centrifugación Secundaria

$$\text{Balance Global: } G = H + I$$

Líquido concentrado:

$$G = 1089,6 \text{ g}$$

Residuo Sólido: Dato experimental 1,03%

$$H = G \times 0,0103 = 1089,6 \text{ g} \times 0,0103 = 11,22 \text{ g}$$

Líquido centrifugado:

$$I = G - H = 1089,6 \text{ g} - 11,22 \text{ g} = 1078,38 \text{ g}$$

3.4.1.5 Balance de materia en la etapa de decantación (filtración al vacío)

La filtración al vacío permitió eliminar las pequeñas partículas flotantes restantes en la fase líquida, garantizando una solución más limpia y transparente, adecuada para la siguiente fase de formulación del insecticida.



Donde:

I: Jabón potásico centrifugada

J: Masa sólida retenida por decantación

K: Jabón potásico concentrado decantado

Ecuación III-08. Ec. Decantación

Balance Global: $I = J + K$

Líquido centrifugado:

$I = 1078,4 \text{ g}$

Residuo Sólido: Dato experimental 5,58%

$J = I \times 0,0558 = 1078,4 \text{ g} \times 0,0558 = 60,17 \text{ g}$

Líquido decantado:

$K = I - J = 1078,4 \text{ g} - 60,17 \text{ g} = 1018,23 \text{ g}$

3.4.1.6 Balance de materia en la etapa de combinación de la solución

En esta etapa, se integró el sólido seco en polvo con la fase líquida purificada, añadiendo etanol y agua destilada para ajustar la concentración y estabilidad de la solución, formando la base para la formulación final del insecticida.



Donde:

K: Jabón potásico concentrado decantado

L: Agregado de la solución mezclada

M: Solución combinada

Ecuación III-09. Ec. Combinación de la Solución

$$\text{Balance Global: } K + L = M$$

Líquido decantado:

$$K = 1018,23 \text{ g}$$

Solución mezclada:

$$L = 200 \text{ g}$$

Líquido combinado:

$$M = K + L = 1018,23 \text{ g} + 200 \text{ g} = 1218,23 \text{ g}$$

3.4.1.7 Balance de materia en la etapa de filtrado final

En la etapa de filtrado final, se utilizó filtración al vacío para eliminar las partículas sólidas residuales que permanecían en suspensión, obteniendo una solución clara y homogénea lista para su aplicación como insecticida.



Donde:

M: Solución combinada

N: Masa sólida retenida por la filtración final

O: Solución filtrada

Ecuación III-10. Ec. Filtrado Final

$$\text{Balance Global: } M = N + O$$

Líquido concentrado:

$$M = 1218,23 \text{ g}$$

Residuo Sólido: Dato experimental 1%

$$N = M \times 0,01 = 1218,23 \text{ g} \times 0,01 = 12,18 \text{ g}$$

Líquido filtrado:

$$O = M \times 0,995 = 1218,23 \text{ g} \times 0,99 = 1206,05 \text{ g}$$

3.4.2 BALANCE DE ENERGÍA

El balance de energía en este proyecto tiene como objetivo evaluar y cuantificar los flujos energéticos involucrados en el proceso de transformación del jabón potásico residual en un insecticida líquido ecológico. Este análisis no solo permitirá optimizar el consumo energético y mejorar la eficiencia del proceso a escala laboratorio, sino que también contribuirá a la sostenibilidad general del proyecto, minimizando el impacto ambiental y los costos operativos. A través de este balance, se identificará la cantidad de energía necesaria en cada etapa, proporcionando una visión integral del rendimiento energético del proceso y su viabilidad en términos de eficiencia y economía circular.

3.4.2.1 Balance de energía en la etapa de homogenización

En la etapa de homogenización, se utiliza un agitador eléctrico regulable para garantizar una mezcla uniforme de los componentes líquidos y sólidos en la formulación del insecticida líquido. Este proceso de agitación tuvo una duración de 5 minutos.

Datos:

$$\text{Tiempo } t = 5 \text{ min} = 0,0833 \text{ h}$$

$$\text{Potencia } P_{\text{Agitador}} = 500 \text{ W} = 0,5 \text{ KW}$$

Ecuación III-11. Ec. Energía Agitador

$$E_{\text{Agitador}} = P_{\text{Agitador}} \cdot t$$

$$E_{\text{Agitador}} = 0,5 \cdot 0,0833 \text{ h} = 0,04165 \text{ KWh}$$

$$E_{\text{Agitador}} = 0,04165 \text{ KWh} \cdot 3600 \frac{\text{KJ}}{\text{KWh}} = 149,94 \text{ KJ}$$

La energía consumida por el agitador eléctrico en la etapa de homogenización es de 149,94 KJ.

3.4.2.2 Balance de energía en la etapa de purificación

En la etapa de purificación, la centrifugación desempeña un papel crucial en la remoción de impurezas y residuos sólidos finos presentes en la solución de jabón potásico residual. Mediante

la aplicación de fuerza centrífuga, se separan las partículas no deseadas, obteniendo así una fase líquida más limpia y adecuada para las fases posteriores de formulación del insecticida líquido. En esta etapa, se operó con un tiempo de 15 minutos por lote, alcanzando un total de 60 minutos de centrifugado, lo que permitió mejorar la eficacia en la purificación y garantizar la calidad de la solución líquida para su posterior uso en la elaboración del producto final.

Datos:

Tiempo $t = 60 \text{ min} = 1 \text{ h}$

Potencia $P_{\text{Agitador}} = 520 \text{ W} = 0,52 \text{ KW}$

Ecuación III-12. Ec. Energía Centrifugadora

$$E_{\text{Centrifugadora}} = P_{\text{Centrifugadora}} * t$$

$$E_{\text{Centrifugadora}} = 0,52 * 1 \text{ h} = 0,52 \text{ KWh}$$

$$E_{\text{Centrifugadora}} = 0,52 \text{ KWh} * 3600 \frac{\text{KJ}}{\text{KWh}} = 1872 \text{ KJ}$$

La energía consumida por la centrifugadora en la etapa de purificación es de 1872 KJ.

3.4.2.3 Balance de energía en la etapa de secado primaria

En la etapa de secado primaria, la masa sólida obtenida tras la centrifugación primaria es sometida a un proceso de deshidratación utilizando un secador de bandejas. Este proceso es esencial para eliminar el exceso de humedad en el material, permitiendo obtener un sólido seco que será utilizado posteriormente en la formulación del abono fertilizante.

Datos:

Tiempo $t = 3600 \text{ min} = 60 \text{ h}$

Temperatura $T = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Potencia $P_{\text{Agitador}} = 300 \text{ W} = 0,3 \text{ KW}$

Ecuación III-13. Ec. Energía Secador

$$E_{\text{Secador}} = P_{\text{Secador}} * t$$

$$E_{\text{Secador}} = 0,3 * 60 \text{ h} = 18 \text{ KWh}$$

$$E_{\text{Secador}} = 18 \text{ KWh} * 3600 \frac{\text{KJ}}{\text{KWh}} = 64800 \text{ KJ}$$

La energía consumida por el secador en la etapa de secado es de 64800 KJ.

3.4.2.4 Balance de energía en la etapa de molienda primaria

En la etapa de molienda primaria, la masa sólida secada previamente es procesada mediante un molino para obtener un polvo fino y homogéneo, que será utilizado en la formulación del abono fertilizante. Este proceso de molienda es clave para asegurar que las partículas sólidas tengan el tamaño adecuado, facilitando su integración con los demás componentes de la mezcla.

Datos:

Tiempo $t = 6 \text{ min} = 0,1 \text{ h}$

Potencia $P_{\text{Molino}} = 150 \text{ W} = 0,15 \text{ KW}$

Ecuación III-14. Ec. Energía Molienda Primaria

$$E_{\text{Molino}} = P_{\text{Molino}} * t$$

$$E_{\text{Molino}} = 0,15 * 0,1 \text{ h} = 0,015 \text{ KWh}$$

$$E_{\text{Molino}} = 0,015 \text{ KWh} * 3600 \frac{\text{KJ}}{\text{KWh}} = 54 \text{ KJ}$$

La energía consumida por el molino en la etapa de molienda es de 54 KJ.

3.4.2.5 Balance de energía en la etapa de centrifugación secundaria

En la etapa de centrifugación secundaria, se optimizó el proceso aumentando el tiempo de centrifugado a 20 minutos por lote, alcanzando un total de 80 minutos de operación, con el fin de mejorar la separación de las fases y obtener una mayor pureza en la fase líquida. Este ajuste en el tiempo de centrifugado permite una mayor eficiencia en la remoción de los residuos sólidos finos, lo que es crucial para garantizar la calidad del insecticida líquido.

Datos:

Tiempo $t = 80 \text{ min} = 1,333 \text{ h}$

Potencia $P_{\text{Centrifugadora}} = 520 \text{ W} = 0,52 \text{ KW}$

Ecuación III-15. Ec. Energía Centrifugadora Centrifugación Secundaria

$$E_{\text{Centrifugadora}} = P_{\text{Centrifugadora}} * t$$

$$E_{\text{Centrifugadora}} = 0,52 * 1,333 \text{ h} = 0,693 \text{ KWh}$$

$$E_{\text{Centrifugadora}} = 0,693 \text{ KWh} * 3600 \frac{\text{KJ}}{\text{KWh}} = 2494,8 \text{ KJ}$$

La energía consumida por la centrifugadora en la etapa de centrifugación secundaria es de 2494,8 KJ.

3.4.2.6 Balance de energía en la etapa de decantación

En la etapa de decantación, se empleó un sistema de filtración por bomba de vacío para eliminar las pequeñas partículas sólidas restantes en la fase líquida, que no fueron completamente separadas durante la centrifugación secundaria. Este proceso permitió obtener una solución más clara y homogénea, libre de impurezas físicas, adecuada para las siguientes fases de formulación del insecticida líquido. Durante esta etapa, se operó con un tiempo de filtración de 20 minutos, garantizando una purificación eficaz y una solución más estable para su posterior uso.

Datos:

Tiempo $t = 20 \text{ min} = 0,333 \text{ h}$

Potencia $P_{\text{Bomba de vacío}} = 230 \text{ W} = 0,23 \text{ KW}$

Ecuación III-16. Ec. Energía Bomba de Vacío Decantación

$$E_{\text{Bomba de vacío}} = P_{\text{Bomba de vacío}} * t$$

$$E_{\text{Bomba de vacío}} = 0,23 * 0,333 \text{ h} = 0,077 \text{ KWh}$$

$$E_{\text{Bomba de vacío}} = 0,077 \text{ KWh} * 3600 \frac{\text{KJ}}{\text{KWh}} = 277,2 \text{ KJ}$$

La energía consumida por la bomba de vacío en la etapa de decantación es de 277,2 KJ.

3.4.2.7 Balance de energía en la etapa de secado secundario

En la etapa de secado secundario, la masa sólida obtenida en la etapa anterior fue sometida a un proceso de deshidratación en un secador de bandejas, con el objetivo de eliminar completamente la humedad restante y obtener un material seco adecuado para su posterior procesamiento. Durante esta etapa, se operó con un tiempo de secado de 35 horas, asegurando una deshidratación completa y una mayor estabilidad del producto final.

Datos:

Tiempo $t = 2100 \text{ min} = 35 \text{ h}$

Temperatura $T = 60 \text{ °C}$

Potencia $P_{\text{Agitador}} = 300 \text{ W} = 0,3 \text{ KW}$

Ecuación III-17. Ec. Energía Secador Secado Secundario

$$E_{\text{Secador}} = P_{\text{Secador}} * t$$

$$E_{\text{Secador}} = 0,3 * 35 \text{ h} = 10,5 \text{ KWh}$$

$$E_{\text{Secador}} = 10,5 \text{ KWh} * 3600 \frac{\text{KJ}}{\text{KWh}} = 37800 \text{ KJ}$$

La energía consumida por el secador en la etapa de secado es de 37800 KJ.

3.4.2.8 Balance de energía en la etapa de molienda secundaria

En la etapa de molienda secundaria, la masa sólida secada previamente fue procesada en un molino para obtener un polvo más fino y homogéneo, esencial para su integración adecuada en la formulación del abono fertilizante. Este proceso de molienda es clave para asegurar que las partículas tengan el tamaño adecuado, lo que facilita su disolución y mejora la eficiencia del producto final. Durante esta etapa, se operó con un tiempo de molienda de 3 minutos.

Datos:

Tiempo $t = 3 \text{ min} = 0,05 \text{ h}$

Potencia $P_{\text{Molino}} = 150 \text{ W} = 0,15 \text{ KW}$

Ecuación III-18. Ec. Energía Molino Molienda Secundaria

$$E_{\text{Molino}} = P_{\text{Molino}} * t$$

$$E_{\text{Molino}} = 0,15 * 0,05 \text{ h} = 0,0075 \text{ KWh}$$

$$E_{\text{Molino}} = 0,0075 \text{ KWh} * 3600 \frac{\text{KJ}}{\text{KWh}} = 27 \text{ KJ}$$

La energía consumida por el molino en la etapa de molienda es de 27 KJ.

3.4.2.9 Balance de energía en la etapa de filtración final

En la etapa de filtración final, se utilizó un sistema de filtración por bomba de vacío para eliminar las pequeñas partículas sólidas residuales que permanecieron en suspensión después de la etapa de combinación de la solución. Durante esta etapa, se operó con un tiempo de filtración de 12 minutos asegurando la pureza de la mezcla final.

Datos:

Tiempo $t = 12 \text{ min} = 0,2 \text{ h}$

Potencia $P_{\text{Bomba de vacío}} = 230 \text{ W} = 0,23 \text{ KW}$

Ecuación III-19. Ec. Bomba de Vacío Filtrado Final

$$E_{\text{Bomba de vacío}} = P_{\text{Bomba de vacío}} * t$$

$$E_{\text{Bomba de vacío}} = 0,23 * 0,2 \text{ h} = 0,046 \text{ KWh}$$

$$E_{\text{Bomba de vacío}} = 0,046 \text{ KWh} * 3600 \frac{\text{KJ}}{\text{KWh}} = 165,6 \text{ KJ}$$

La energía consumida por la bomba de vacío en la etapa de decantación es de 165,6 KJ.

3.4.3 CONSUMO DE ENERGÍA DE LOS EQUIPOS

El análisis del consumo de energía en las distintas etapas del proceso de elaboración del insecticida líquido se presenta de manera detallada en la siguiente tabla. Esta visualización permite identificar de forma clara y concisa la energía utilizada en cada fase del proceso, facilitando la comparación de consumos y la evaluación de la eficiencia energética. La tabla resume los valores de consumo de energía registrados durante la operación de los equipos, considerando que en la ciudad de Tarija; el costo promedio de 1 KW-h es de 0,79 Bs. .

Las características técnicas de cada equipo utilizadas en este proyecto fueron obtenidas directamente de las placas de información, lo que garantiza la precisión y fiabilidad de los datos. Estos parámetros, como la potencia, voltaje y especificaciones adicionales, son fundamentales para el análisis detallado del consumo energético y la optimización de los procesos involucrados en la formulación del insecticida líquido a partir del jabón potásico residual.

Tabla III-35. Condiciones de operación de los equipos y costos de uso

Equipo	Potencia (KW)	Tiempo de operación (h)	Energía consumida (KWh)	Costo de energía (Bs)
Agitador eléctrico regulable (Homogeneización)	0,500	0,0833	0,04165	0,329
Centrífuga (Purificación)	0,520	1,000	0,520	0,410
Secador (Secado primario)	0,300	60	18,000	14,220
Molino (Molienda primaria)	0,150	0,1	0,015	0,012
Centrífuga secundaria (Centrifugación secundaria)	0,520	1,333	0,693	0,547
Bomba de vacío (Decantación)	0,230	0,333	0,077	0,061
Secador (Secado secundario)	0,300	35	10,500	8,295
Molino (Molienda secundaria)	0,150	0,05	0,0075	0,006
Bomba de vacío (Filtración final)	0,230	0,2	0,046	0,036
Termómetro digital	0,23	0,833	0,19159	0,1514

Viscosímetro	0,23	0,333	0,07659	0,0605
Espectrofotómetro de llama	0,23	2,5	0,575	0,4543
TOTAL				24,287

Fuente: Elaboración propia, 2026.

Ecuación III-20. Ec. Costo Energía Equipo

$$\text{Costo}_{\text{Energía}} = \text{Energía}_{\text{consumida (equipo)}} * \text{Costo}_{\text{promedio (Tarija)}}$$

CAPÍTULO IV

COSTOS DEL PROYECTO

4. COSTOS DEL PROYECTO

4.1 Evaluación de costos

En este apartado, se detallan los gastos asociados a las diferentes etapas de la investigación, desde la adquisición de los reactivos y materiales hasta los costos indirectos y operativos necesarios para la ejecución del proyecto. En las siguientes tablas se muestran los detalles de los gastos para la elaboración de todo el proyecto.

4.1.1 Costos de Reactivos Utilizados en el Proceso Experimental

En esta tabla se presentan los costos de los reactivos esenciales que se utilizaron en cada etapa del proceso experimental, como el hidróxido de potasio (KOH), los extractos vegetales, y otros.

Tabla IV-01. Costos de Reactivos

Reactivo	Precio Unitario (Bs)	Unidad de Medida	Cantidad	Costo (Bs)
Hidróxido de Potasio (KOH)	100	Kg	4	400
Carbonato de Potasio (K ₂ CO ₃)	100	Kg	1	100
Extracto de Ajo	120	ml	1	120
Extracto de Orégano	120	ml	1	120
Extracto de Lavanda	120	ml	1	120
Ácido Cítrico	35	Kg	1	35
Etanol	20	L	4	80
Agua Destilada	8	L	4	32
Glicerina	50	Kg	1	50
Solución almacenamiento PHmetro	240	ml	1	240
TOTAL				1297

Fuente: Elaboración propia, 2026.

4.1.2 Costos de Materiales Utilizados en el Proceso Experimental

La tabla describe los diferentes materiales que se utilizaron a lo largo del proceso experimental, tales como los equipos de laboratorio, material de vidrio y otros materiales auxiliares.

Tabla IV-02. Costos de Materiales Consumibles

Material	Precio Unitario (Bs)	Unidad de Medida	Cantidad	Costo (Bs)
Vaso Precipitado (100 ml)	47	Unidad	1	47
Vaso Precipitado (600 ml)	87	Unidad	2	174
Matraz Erlenmeyer (500 ml)	111	Unidad	1	111
Probeta (100 ml)	96	Unidad	2	192
Tubos de Ensayo	4	Unidad	20	80
Tapón Tubo de ensayo	2	Unidad	20	40
Gradilla Plástica	109,50	Unidad	1	109,50
Pipeta (10 ml)	40	Unidad	1	40
Vidrio Reloj	30	Unidad	1	30
Varilla de Vidrio	39	Unidad	1	39
Papel Filtro	14	Pliegue	3	42
Tela Porosa (tela filtro)	15	½ metro	1	15
Termómetro Digital	630	Unidad	1	630
Molino de grano	70	Unidad	1	70
PHmetro Digital	870	Unidad	1	870
Piseta (500 ml)	111	Unidad	1	111
Guantes de Nitrilo	50	Caja	1	50
Barbijo	20	Caja	1	20
TOTAL				2670,5

Fuente: Elaboración propia, 2026.

El resto de los materiales y equipos necesarios para la realización de la parte experimental y análisis, fueron proporcionados por el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la carrera de Ingeniería, el laboratorio de Química de la carrera de Ingeniería Química y el Laboratorio de Suelos de la carrera de Ingeniería Agronómica, de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

4.1.3 Costo de Utensilios

A continuación, se presenta un desglose de los costos asociados a los utensilios utilizados durante el proceso experimental, los cuales son esenciales para las distintas fases de preparación, almacenamiento y manipulación de los reactivos y soluciones. Estos utensilios incluyen baldes plásticos, bandejas metálicas, envases y frascos plásticos, así como repasadores de cocina, los cuales juegan un papel clave en el manejo eficiente y seguro de los materiales durante el desarrollo del insecticida.

Tabla IV-03. Costos de Utensilios

Material	Precio Unitario (Bs)	Unidad de Medida	Cantidad	Costo (Bs)
Balde Plástico (1 L)	10	Unidad	4	40
Balde Plástico (4 L)	35	Unidad	4	140
Balde Plástico (2,5 L)	15	Unidad	2	30
Bidones (10 L)	15	Unidad	4	60
Frasco Plástico	5	Unidad	6	30
Frasco Plástico	5 x 3	Unidad	6	10
Atomizador (20 ml)	5	Unidad	2	10
Atomizadores	10	Unidad	2	20
Atomizadores pequeños	5	Unidad	12	60
Atomizador (500 ml)	10	Unidad	3	30
Repasador de cocina	6	Unidad	5	30
Bandejas Metálicas	10	Unidad	4	40
Envase PET (1 L)	8,50	Unidad	6	51
Envase PET (500 ml)	7,50	Unidad	12	90
Envase Plástico (100 ml)	2,50	Unidad	2	5
Colador Plástico	10	Unidad	1	10
Bolsas Herméticas	2	Unidad	5	10
TOTAL				666

Fuente: Elaboración propia, 2026.

4.1.4 Costos Energéticos de los Equipos

La eficiencia energética es un factor crucial en el desarrollo de proyectos experimentales, ya que el consumo de energía de los equipos utilizados impacta directamente en los costos operativos. A continuación, se presenta una tabla detallada con los costos energéticos asociados a los principales equipos utilizados en la formulación del insecticida, lo que permite evaluar el consumo de electricidad durante las distintas fases del proceso experimental y su incidencia en el presupuesto total del proyecto.

Tabla IV-04. Detalle Costos Energéticos

Equipo	Energía consumida (KWh)	Costo de KWh (Bs)	Costo de energía (Bs)
Agitador eléctrico regulable (Homogeneización)	0,04165	0,70	0,329
Centrífuga (Purificación)	0,520	0,70	0,410
Secador (Secado primario)	18,000	0,70	14,220
Molino (Molienda primaria)	0,015	0,70	0,012
Centrífuga secundaria (Centrifugación secundaria)	0,693	0,70	0,547
Bomba de vacío (Decantación)	0,077	0,70	0,061
Secador (Secado secundario)	10,500	0,70	8,295
Molino (Molienda secundaria)	0,0075	0,70	0,006
Bomba de vacío (Filtración final)	0,046	0,70	0,036
Termómetro digital	0,19159	0,70	0,1514
Viscosímetro	0,07659	0,70	0,0605
Espectrofotómetro de llama	0,575	0,70	0,4543
TOTAL			24,287

Fuente: Elaboración propia, 2026.

4.1.5 Costos de Servicios y Materiales Directos e Indirectos

En esta sección se detallan los costos asociados a los servicios externos y materiales operativos necesarios para el desarrollo del proyecto. Estos costos incluyen actividades como investigación en línea, impresión de materiales, adquisición de suministros, transporte diario y la contratación

de mano de obra, entre otros. A continuación, se presenta una tabla que muestra los costos unitarios y totales de estas actividades, proporcionando una visión clara de los recursos utilizados durante el proceso experimental.

Tabla IV-05. Costos de Servicios

Actividad	Precio Unitario (Bs)	Unidad de Medida	Cantidad	Costo (Bs)
Investigación en Internet	200	Mes	5	1000
Impresión	0,65	Hoja	1600	1040
Papel Adhesivo	2	Hoja	5	10
Anillados	7	Anillado	8	56
Transporte Diario	2	Pasaje	80	160
Mano de Obra	15	h	500	7500
TOTAL				9766

Fuente: Elaboración propia, 2026.

4.1.6 Costos Totales

La tabla siguiente presenta un desglose detallado de los costos totales asociados a las diferentes etapas de mi proceso experimental. Este análisis incluye tanto los costos directos, como los materiales y equipos utilizados, como los costos indirectos relacionados con el uso de servicios y recursos operativos.

Tabla IV-06. Detalle Costos Totales

Descripción	Costo de energía (Bs)
Costos de reactivos utilizados en el proceso experimental	1297
Costos de materiales utilizados en la parte experimental	2670,5
Costos de utensilios utilizados	666
Costos energéticos de los equipos	24,287
Costos de servicios y materiales directos e indirectos	9766
TOTAL	14423,787

Fuente: Elaboración propia, 2026.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente proyecto de investigación, "Elaboración de un insecticida líquido ecológico a partir de jabón potásico residual de la planta de engarrafadora de GLP YPFB El Portillo-Tarija a escala laboratorio", se concluye lo siguiente:

- La solución jabonosa residual utilizada en la formulación del insecticida presenta propiedades fisicoquímicas adecuadas para su reutilización en la elaboración de productos ecológicos. Tras las etapas de filtración y purificación, se logró obtener una solución más limpia, con una reducción significativa de las impurezas.
- Que el experimento M8-R, réplica 2, representa la mejor opción en términos de efectividad insecticida, estabilidad físico-química y eficiencia en el proceso experimental. Este experimento presentó los mejores índices de control de plagas, con una reducción significativa de la población de insectos, y un rendimiento experimental de 95%, sin comprometer las propiedades ecológicas del producto final, lo que responde satisfactoriamente a los objetivos de reutilización del jabón potásico residual como base del insecticida.
- El proceso experimental fue exitoso en la obtención de un insecticida líquido ecológico, con una optimización de las etapas de filtración, purificación, concentración y formulación. Cada fase del proceso mostró un balance de materia adecuado, con un rendimiento eficiente y con una mínima pérdida de material.
- Se realizó un balance de materia exhaustivo en todas las etapas del proceso, asegurando un uso eficiente de los recursos. El balance energético reveló que las etapas de centrifugado y secado son las que requieren mayor consumo de energía. Sin embargo, este análisis permitió optimizar el consumo energético y reducir los costos operativos, lo cual es crucial para la viabilidad de la producción a escala.
- El insecticida resultante de la formulación a partir del jabón potásico residual mostró ser un producto eficiente, con propiedades insecticidas que podrían competir favorablemente con productos convencionales, pero con un menor impacto ambiental. El uso de insumos naturales y la reutilización de un subproducto industrial aportan a la sostenibilidad y a la disminución de residuos.
- Las propiedades fisicoquímicas del insecticida final fueron estables a lo largo del proceso, garantizando la efectividad del producto. La incorporación de insumos

adicionales como el etanol y el agua destilada contribuyó a ajustar la concentración y a mejorar la estabilidad de la solución.

Propiedad	Valor
Composición (K)	14,01 %
Concentración	1,4010 mg/L
pH	9
Densidad	0,9925 mg/L

- El proceso de fabricación del insecticida ecológico se validó con éxito a escala laboratorio. Todos los parámetros de calidad fueron cumplidos, lo que demuestra que el proceso puede ser replicado a mayor escala con los ajustes correspondientes.
- El insecticida tiene gran potencial en la agricultura sostenible, especialmente para cultivos que evitan el uso de productos químicos. Su baja toxicidad y biodegradabilidad lo hacen atractivo para los agricultores que buscan alternativas naturales para controlar plagas.
- A lo largo de las diversas etapas del proceso de producción, se logró mejorar la calidad del insecticida ecológico resultante. La formulación del insecticida, que inicialmente se basaba únicamente en jabón potásico residual, se enriqueció con la adición controlada de insumos químicos y naturales, lo que incrementó la efectividad del producto final. El balance entre la concentración del jabón potásico y los aditivos permitió obtener un insecticida con propiedades satisfactorias, competentes frente a plagas agrícolas, a la par que mantiene un perfil ecológico.
- Este proyecto resalta el valor de la investigación aplicada para resolver problemas industriales y ambientales. La conversión de un subproducto industrial en un insecticida ecológico contribuye a tecnologías más limpias y sostenibles, enfrentando los desafíos actuales de la industria agroquímica.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un estudio para la escalabilidad del proceso de producción del insecticida a nivel industrial, evaluando la viabilidad de implementarlo en la planta de envasado de GLP YPFB El Portillo o en otras instalaciones similares. La automatización de algunos procesos podría mejorar la eficiencia y reducir costos operativos.

- A pesar de que el proceso mostrado es efectivo, se recomienda realizar investigaciones adicionales para mejorar el rendimiento de las etapas de centrifugación y secado, que son las que más energía consumen. El uso de tecnologías de bajo consumo energético podría mejorar la sostenibilidad económica del proceso.
- Se sugiere investigar sobre la incorporación de otros insumos naturales que puedan potenciar las propiedades insecticidas del producto final. La combinación de diferentes extractos naturales podría resultar en un producto más eficiente y menos dependiente de químicos adicionales.
- Se recomienda explorar la posibilidad de desarrollar subproductos adicionales a partir de los residuos generados durante el proceso de producción, tales como fertilizantes líquidos o compost a partir de los residuos sólidos. Esto contribuiría a mejorar la sostenibilidad y la rentabilidad del proyecto.
- Es recomendable realizar un estudio sobre el impacto ambiental de la producción del insecticida ecológico, incluyendo la gestión de residuos y la reutilización de los recursos, con el objetivo de optimizar el ciclo de vida del producto y minimizar el impacto en el medio ambiente.
- Se sugiere a la carrera de Ingeniería Química realizar investigaciones adicionales sobre el tratamiento de aguas residuales generadas durante la producción, así como el desarrollo de tecnologías de purificación más eficientes y sostenibles.
- Es recomendable que las instituciones académicas y las industrias que trabajen en el ámbito de productos ecológicos se centren en la capacitación de personal y sensibilización sobre la importancia de la sostenibilidad en la producción agrícola y el manejo adecuado de residuos industriales.