

UNIVERSIDAD EAN

FACULTAD INGENIERIA  
PROGRAMA INGENIERIA QUIMICA

PROYECTO EXTRACCIÓN DE ALICINA PARA UN PROTOTIPO DE BIO-PESTICIDA

AUTOR

DANIEL FELIPE AGUIRRE ROMERO  
KAREN BIBIANA NARANJO CESPEDES  
MARÍA PAULA VÁSQUEZ ARENAS  
MARIA PAULA ZAMBRANO PAEZ

JULIEN GWENDAL CHENET

BOGOTÁ, 24 DE MAYO DEL 2021

## **Proyecto extracción de alicina para un prototipo de bio-pesticida**

### **1. Resumen**

Los pesticidas tradicionales han demostrado tener efectos negativos sobre la salud del hombre puesto que son biocidas los cuales tienen una alta composición de toxinas que son perjudiciales para la salud del ser humano, esto ha sido una problemática desde el siglo XX. Estos productos han demostrado dejar residuos en los vegetales o plantas en los que son aplicados y en la mayoría de los casos en el ser humano trae consecuencias graves en la salud como complicaciones a nivel respiratorio y nervioso, por este motivo, se han planteado alternativas más verdes como los biopesticidas que son productos derivados de materias primas totalmente naturales, por lo que en este proyecto se plantea un prototipo de pesticida natural el cual va enfocado en la extracción de la alicina proveniente del ajo y se estudiará la forma de extracción de este componente mediante un método de extracción líquida - líquida y analizar las propiedades fisicoquímicas del mismo.

*Palabras clave: Alicina, biopesticida, extracción*

### **2. Problema de Investigación**

Los insecticidas, los plaguicidas, los herbicidas, entre otros son biocidas lo cual implica una alta composición de toxinas que son perjudiciales para la salud del humano, esto ha sido una problemática desde el siglo XX. Por otro lado, los plaguicidas pueden tener efectos tanto agudos como crónicos y consecuencias a largo plazo, es decir, que estos pueden producir epidemias tóxicas humanas productoras de alta morbilidad, una de las mayores preocupaciones sanitarias es la capacidad carcinogénica de estos biocidas y la producción de enfermedades como el Alzheimer, el Parkinson, las alteraciones hormonales, el trastorno del desarrollo y la esterilidad; sin embargo cabe resaltar que estas problemáticas se dan vía alimentaria.

Las plagas son una de las principales afectaciones de los cultivos del aguacate Hass que limitan la venta y exportación, por lo que es necesario controlarse y radicarse, por este motivo se usan pesticidas específicos para la erradicación de plagas como, por ejemplo, se usan insecticidas de tipo organofosforados y piretroides para tratar y erradicar estos problemas (Benavides & Echeverri, 2014). La primera clase de pesticidas son una sustancia química que se produce a partir de la estructura molecular del fósforo y son considerados altamente tóxicos para el ser humano pues generan complicaciones a nivel respiratorio y nervioso, mientras el segundo plaguicida puede generar reacciones cutáneas, trastornos respiratorios o digestivos y en algunos casos se presentan afectaciones a nivel neuronal.

### **3. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo general**

Proponer un posible prototipo de biopesticida que tenga como componente activo la alicina extraída.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- Comparar los riesgos de los pesticidas convencionales y los biopesticidas
- Identificar los beneficios que presenta el plaguicida propuesto para la salud del ser humano y el cuidado del medio ambiente.
- Determinar los factores que limitan o potencian la comercialización del plaguicida.

#### **4. Análisis de requerimientos o especificaciones técnicas**

La relevancia social de este proyecto va enfocada en el reemplazo de los pesticidas tradicionales por un pesticida natural puesto que el primer tipo poseen compuestos sintéticos que pueden ser perjudiciales para la salud del ser humano, es por esto, que para la utilización de estos productos es necesario seguir un procedimiento de seguridad para que estos no tengan contacto directo con el hombre, además, los pesticidas sintéticos pueden llegar a contaminar fuentes hídricas y perjudicar la vida que existe en ella, por este motivo, se plantea una alternativa de este producto con materiales totalmente naturales y que tengan la misma eficacia que los sintéticos.

Para la extracción de la alicina es importante aclarar que el ajo contiene en grandes cantidades aliina y para que este componente forme la alicina es necesario que este en contacto con la enzima alinasa que se encuentra en las vacuolas de las células, por este motivo el primer paso para la extracción del principio activo del ajo es hacer un proceso de trituración (Fenfang, Qiao, Shuanggen, & Zhijian, 2017), posteriormente de este proceso se le debe agregar una cantidad razonable de solvente a los trozos de ajo, este solvente puede ser cloroformo o acetato de etilo. Luego de esto, el ajo con el solvente se debe someter a una agitación con un baño ultrasónico durante aproximadamente 60 minutos y a temperatura ambiente, es importante que este a temperaturas bajas para evitar la degradación del compuesto de interés que es la alicina, después se debe filtrar los extractos con el propósito de separar los sólidos (trozos del ajo) que se encuentran suspendidos en el líquido. Para finalizar, la extracción de la alicina se debe usar un sistema de rotavapor, en este proceso no es necesario utilizar calor, este procedimiento tiene como finalidad eliminar los solventes que se usaron para extraer el principio activo y así obtener un sustrato de alicina más puro, en cuanto a la pruebas analíticas empleadas para conocer la composición del principio activo en el sustrato se puede utilizar cromatografía en capa fina, separación por cromatografía en columna y análisis por GC-MS (Córdova Betancourt, 2010). Este método de extracción fue seleccionado puesto que es un proceso que requiere cantidades relativamente bajas de insumos (solvente, el ajo y los equipos) y es una de las maneras más eficientes para extraer la alicina del ajo.

### **5. Marco de referencia**

El uso de los pesticidas se remonta desde que el humano comenzó a abordar todo el tema de la agricultura puesto que existían diferentes plagas, roedores y enfermedades que afectaban

gravemente al desarrollo y crecimiento de las plantas y de los frutos, por este motivo se da inicio al uso de repelentes y plaguicidas que ahuyentaba, y de cierta manera, mataba a este tipo de problemas, dentro de los primeros compuestos que se usaron se encuentran: el azufre, flores de piretro y arsenitos (Bedmar, 2011). Al pasar de los años, la humanidad ha desarrollado nuevas tecnologías para el bien común, así fue como llegó la era de la industrialización que contrajo muchos avances en varios ámbitos, uno de los aspectos en los que se incursionó fue el de la química sintética que permitía obtener nuevos productos a partir de sustancias simples para fines comerciales, dentro del marco de los pesticidas, la síntesis de estos productos proviene de compuestos orgánicos e inorgánicos de los cuales se destacan los organoclorados, los organofosfatos, piretroides y carbamatos (Akanksha et al, 2020).

La degradación del medio ambiente y el aumento de personas en el mundo es uno de los desafíos más grandes para la oportuna producción de cultivos puesto que se han evidenciado muchos factores que impiden dicha producción. A raíz de estos impedimentos se empezaron a realizar diferentes investigaciones para encontrar soluciones contra problemas ambientales, las plagas y las enfermedades, sin embargo, mediante el enfoque de gestión ecológico se demostró que el uso de biopesticidas era una de las mejores alternativas para combatir los productos químicos sintéticos (Thakur, Kaur, Tomar, Thakur, & Yadav, 2020).

Sin embargo, las prácticas agrícolas a lo largo de los años han exigido una solución segura y no muy costosa para combatir los daños producidos por las diferentes plagas en los cultivos, los cuales deberían tener un nivel demasiado bajo en el impacto con el medio ambiente y las personas. Por otro lado, a raíz de diversas investigaciones se han descubierto diferentes factores que la misma naturaleza ofrece como los fotoquímicos en las plantas que pueden ser útiles en el momento de combatir una plaga (Kala Ph et al, 2019), además, los plaguicidas biológicos pueden diferenciarse por sus componentes o acciones que generan dentro de la planta por lo que se puede definir como:

*“Los bioplaguicidas abarcan los pesticidas microbianos, pesticidas bioquímicos y protectores incorporados a las plantas (PIP), puesto que estos son productos obtenidos a partir de microorganismos que resultan beneficiosos y pueden aplicarse para combatir las enfermedades de las plantas y plagas de insectos los cuales son responsables de causar daños a los cultivos agrícolas años tras año”* (Thakur, Kaur, Tomar, Thakur, & Yadav, 2020, págs. 243-282).

Por otro lado, según la agencia EPA los biopesticidas se dividen en tres categorías y las dos más importantes son los bioquímicos y los microbianos. En los bioquímicos entran las feromonas de insectos, los extractos de aceites vegetales y botánicos, los reguladores del crecimiento vegetal y por último los reguladores de crecimientos de insectos y finalmente en los microbianos entran las bacterias, los hongos, los virus y las levaduras (CRODA, s.f.). En cuanto a los pesticidas microbianos, por ejemplo, la utilización de la bacteria *Bacillus Thuringiensis* que ha sido empleada desde los inicios de este milenio como un biopesticida natural y que de cierta manera ha despertado la curiosidad de la humanidad para buscar alternativas más naturales para el desarrollo de pesticidas a base de componentes naturales, de igual forma, esta bacteria ha llamado la atención debido a que genera una proteína Cry que actúa en muchos casos como una toxina para muchos insectos puesto que estas proteínas se encuentran en diferentes partes de la planta, en especial, en las hojas donde estuvo la bacteria, y cuando el insecto ingiera la hoja y llegue al intestino, la proteína se

disolverá por el pH alcalino y esto provoca la liberación de toxina y así generando la muerte del lepidóptero (Brenes Flores, 2015).

Los biopesticidas últimamente se han convertido en un tema prioritario para la investigación ya que lo que se busca es reemplazar los pesticidas tradicionales que se aplican a productos de consumo humano. Sin embargo, cabe resaltar que, “a nivel mundial, el mercado de los biopesticidas crece anualmente a una tasa del 45% en América del norte, 25% en Europa y Oceanía, 15% en países de América Latina y del sur y 7% en Asia” (Ramírez Guzmán, y otros, 2020, págs. 1-11) y a raíz de esto cada día se tendrán que mejorar los bioprocesos y se seguirán creando estrategias para mejorar la estabilidad y productividad de dichos productos.

Los daños generados que puede generar un pesticida sintético pueden ir desde la contaminación de suelos, agua y frutos hasta provocar intoxicación en seres vivos como humanos y animales, por lo que es necesario regular su uso. Por otro lado, el empleo de biopesticidas puede ser una alternativa razonable para evitar todos esos efectos negativos que provoca un plaguicida, asimismo, es necesario conocer que impactos puede tener la utilización de la alternativa verde de los pesticidas en el suelo, puesto que allí se alojan una gran diversidad bacteriana que desempeñan un rol importante para el buen funcionamiento de la tierra.

Un estudio realizado por diferentes científicos sobre los efectos que puede provocar un biopesticida sobre la comunidad bacteriana dio como resultado que este producto puede alterar de manera reducida la diversidad y composición bacteriana en los inicios de la utilización de bioplaguicida, después de un tiempo la actividad y diversidad microbiana aumentó, todos estos efectos dependen de las dosis que se aplique al suelo, si se aplican grandes cantidades la afectación a la comunidad de bacterias puede reincidir después de un tiempo del primer uso del producto; sin embargo, este estudio resalta el hecho de que hay poca investigación en el campo por lo que es necesario evaluar más a fondo los impactos negativos que puede generar los biopesticidas al suelo y a la salud humana (Fournier et al, 2020).

Para cultivos nacientes en Colombia se han empleado diversas maneras de erradicar las plagas, malas hierbas y enfermedades que atacan a las plantas, como es el caso del aguacate Hass, que ha tomado gran relevancia en los últimos años debido a su gran importancia para el país puesto que es uno de los principales productos agrícolas que se exporta al exterior, por este motivo es de gran importancia mantener estos cultivos sanos y de buena calidad, por medio del uso de biopesticidas (para disminuir los impactos ambientales y de sanidad), para que sean exportados y contribuyan al desarrollo económico y social del país.

Según consulta realizada en la base de datos EMIS, Colombia se ha vuelto un exportador del aguacate Hass. Desde el año 2017 Colombia firmó un tratado con Estados Unidos para empezar la exportación a dicho país, cabe resaltar que para llegar a este acuerdo pasaron aproximadamente 12 años de negociaciones, además en el año 2018 se hizo una exportación de 22 toneladas a dicho país, asimismo estas exportaciones van certificadas por el ICA donde entregan un certificado de Fitosanitaria de exportación, por otra lado, las zonas de donde se está cultivando y extrayendo el aguacate Hass para dicha exportación proviene del departamento de Antioquia, a través de la empresa Westfalia Fruit Colombia SAS (EMIS, 2018).

Cabe resaltar que para realizar un control eficaz de las plagas que afectan al cultivo del aguacate Hass, primero se debe monitorear e identificar las principales amenazas que podrían deteriorar al cultivo, esto tiene como objetivo distinguir a los organismos inofensivos, que de cierta manera contribuyen al equilibrio del ecosistema y benefician al cultivo para evitar su

erradicación. Por otra parte, las principales plagas que afectan a los cultivos del aguacate Hass son: pasador del fruto (*Lepidoptera: Elasmobranchidae*), barrenador de la semilla (*Coleoptera: Curculionidae*), barrenador de las ramas del aguacate (*Copturomimus perseae Hustache*), Escama (*Coccus viridis*), entre otros. La primera plaga mencionada tiene gran impacto en el fruto puesto que en su estada larval puede perforar el fruto y generar daños internos, además tiene la habilidad de realizar un agujero dentro de las ramas más delgadas de la planta del aguacate Hass y provocar la muerte de la misma (ICA, 2012).

Por otro parte, a los cultivos de aguacate Hass se le ha hecho investigaciones a cerca de algunas plagas, una de estas es la mosca blanca que en Colombia no hay mucha investigación sobre la erradicación de esta mosca, pero se han realizado estudios en diferentes fincas del Tolima, donde los campesinos tolimenses usan compuestos totalmente naturales como el ajo y el ají para combatir a este insecto, asimismo, la investigación de efectividad de estos plaguicidas en los cultivos arrojó como análisis lo siguiente:

*“genera un control eficiente en el manejo de plagas y demás factores que pueden incidir de forma negativa en el cultivo, mayor productividad al agricultor y menor contaminación al ambiente y a la fauna asociada, al reducir la aplicación indiscriminada de productos de síntesis química”* (Sierra, Quiroga, & Varón, 2014, págs. 197-206)

El ajo será el compuesto principal del biopesticida a proponer, por lo tanto, se hace necesario mencionar las características tanto físicas como químicas. El ajo es una planta bulbosa que generalmente mide entre 30 y 40 cm de alto con unas hojas alterna, largas y muy estrechas; de la misma brota el péndulo floral que generalmente mide entre 40 y 50 cm de altura, cuando el fruto (ajo) está listo para la cosecha sale el bulbo o cabeza de ajo como generalmente se conoce, este puede llegar a tener entre 6 a 12 dientes de ajo cubiertos por una bráctea (membrana blanquecina o rosada que generalmente cubre al diente de ajo).

Cabe recalcar que existen diversos tipos de ajos que se dividen según el tipo de tallo en la cuales se encuentran: el ajo de cuello duro y ajo de cuello blando, y según la coloración, ajo blanco y ajo rosado, por otra parte, las composiciones químicas del ajo son: la aliina que es el componente fundamental del ajo, gracias a un fermento contenido en el ajo, la alinasa que al entrar en contacto con la aliina ésta se convierte en alicina, conversión que ocurre cuando la misma tiene contacto con aire que tenga un PH superior a tres, gracias a esto y posteriormente al contacto se convierte en disulfuro de alilo, el cual le da el olor característico al ajo, también encontramos el ajoeno que es un disulfuro insaturado el cual está compuesto por la unión de tres moléculas de alicina y por ultimo tenemos la quercetina que al igual que el ajoeno actúa como antioxidante (González Maza, Guerra Ibañez, Maza Hernández, & Cruz Dopico, 2014).

La alicina (pertenece al grupo tiosulfonato) es un compuesto que se encuentra principalmente en los dientes de ajo, alrededor del 4 – 5 mg de alicina se encuentra en un diente de ajo. Este compuesto volátil contiene azufre en su composición química, tiene baja solubilidad en el agua y este compuesto se produce cuando la aliina entra en contacto con la enzima alinasa que se encuentra en la cascara del ajo, además, la alicina tiene naturaleza hidrófoba y el característico olor del ajo es debido a este. Por otro lado, este compuesto tiende a degradarse a temperaturas altas y también en pH básicos, además la alicina es altamente reactiva, incluso llegando a formar enlaces covalentes a través de las biotransformaciones redox. Para finalizar, la alicina tiene propiedades antimicrobianas y antifungicidas puesto que este elemento puede interferir

en la síntesis de ARN y biosíntesis de lípidos, asimismo, bloquea la síntesis de acetil-CoA, molécula importante para el metabolismo celular (Salehi et al., 2019).

Para la extracción de la alicina es importante aclarar que se utilizará un método bastante utilizado y sencillo de emplear; sin embargo, como cualquier otra técnica utilizada a nivel de laboratorio e industrial tiene sus desventajas que son el uso de grandes cantidades de disolvente y la manipulación manual, que, en este caso, el disolvente a usar será el acetato de etilo (Tehranirokh, y otros, 2021).

Por otro lado, la extracción líquido – líquido es un método utilizado hace varios años y tiene como finalidad extraer un compuesto o material deseable de una muestra o por el contrario eliminar materiales indeseable, como las impurezas de una mezcla líquida, para que este proceso sea viable es necesario hacer uso de disolventes que tengan gran afinidad (solubilidad) con el compuesto a extraer o eliminar, el proceso inicia cuando los dos compuestos están en contacto, el producto de interés se empezará a repartirse entre la solución acuosa donde se encuentra y el disolvente, posteriormente, este material debe llegar a un equilibrio con el disolvente utilizado para que luego de un tiempo pueda separarse totalmente de la mezcla gracias a la inmiscibilidad.

Este método puede denominarse de dos maneras: co-corriente que hace referencia cuando esta técnica es usada para extraer o eliminar un compuesto de la mezcla, la otra forma de denominación es contracorriente que es un proceso de fraccionamiento común. Para que la extracción líquida – líquido sea totalmente exitosa es necesario tener en cuenta unos parámetros de diseño en el proceso, los cuales son: selección apropiada del disolvente, la selectividad que tiene este solvente para extraer el producto de interés, la eficiencia de la extracción y el coeficiente de distribución (Bokhary, Leitch, & Liao, 2021).

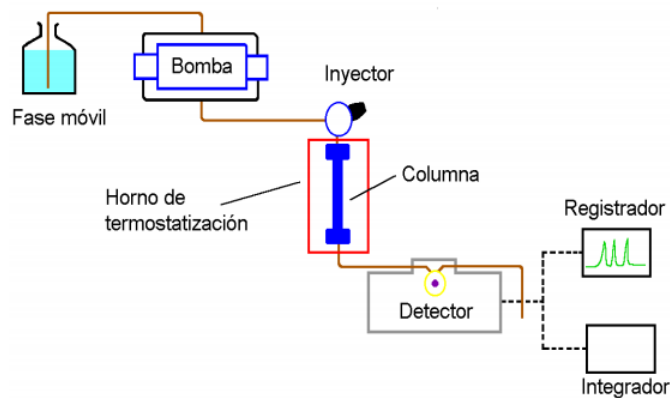
Los biopesticidas son bastante comunes en todo el mundo y se venden alrededor de 1400 productos de biopesticidas, sin embargo, cabe resaltar que en la actualidad las desventajas de la comercialización de estos productos son los costes fijos, la aversión al riesgo de los agricultores, las economías de cartera del IPM, tienen un proceso de aprobación más lento a comparación de los pesticidas sintéticos; no obstante, cabe resaltar que estos productos naturales tienen un menor impacto medioambiental y no tienen periodos de carencia entre tratamientos, por lo que de cierta manera la aceptación de los biopesticidas puede llevar un tiempo, pero al demostrar su efectividad y su bajo nivel de contaminación, el mercado podrá llevar este producto al auge comercial. Asimismo, la acción gubernamental y los intereses de los diferentes consumidores han hecho que el mercado global de estos productos pueda llegar a alcanzar un valor de 6,6 billones de dólares en 2022 y se espera que estos tengan un crecimiento anual del 6,6 % desde el 2016 hasta el 2022 (Chandler et al., 2011).

## **5.1 Cromatografía líquida**

La cromatografía líquida también conocida como HPLC es una técnica de separación de mezclas de productos que son muy poco o nada volátiles.

Consiste en una fase estacionaria no polar (columna) y una fase móvil. La fase estacionaria es sílica y la fase móvil es la que actúa de portador de la muestra. (Barcelona, 2021)

**Figura 1.** Funcionamiento cromatógrafo de líquidos



**Fuente:** (Barcelona, 2021)

### 5.1.1. Clasificación de la cromatografía líquida

La cromatografía líquida se puede clasificar de diferentes formas, sin embargo, cabe resaltar que la forma más convencional es realizarla en base a la naturaleza de fase estacionaria ya que esta es la que impone fundamentalmente el mecanismo de separación, asimismo se puede enumerar por medio de cuatro diferentes técnicas (csic, 2021):

- Cromatografía de adsorción
- Cromatografía de reparto/adsorción
- Cromatografía de intercambio iónico
- Cromatografía de exclusión molecular

### 5.1.2 Función

La muestra se introduce en el puerto de inyección donde es arrastrada por una mezcla de disolventes “fase móvil” hacia una columna cromatográfica, luego dicha columna es la que permite la separación de los componentes por medio de la interacción de los analitos con la fase móvil y el relleno de dicha columna. Es decir, que una vez la solución es inyectada en la fase móvil los componentes de dicha solución emigran de acuerdo a las interacciones no covalentes de todos los compuestos con la columna, cabe resaltar, que dichas interacciones químicas son las que determinan la separación de los contenidos en la muestra y la utilización de los diferentes detectores dependerá de la naturaleza de los compuestos a determinar (csic, 2021).

### 5.1.3 Aplicaciones

- Hidrocarburos poliaromaticos (PAHs)
- Aminoácidos: OTA, Ácido Fólico, Herbicidas, Vitaminas, Ácido tenuazonico, Formaldehido entre otros.

El rango para las muestras líquidas:  $\mu\text{g L}^{-1}$  -  $\text{mg L}^{-1}$



## Equipos

- Bomba de gradiente cuaternaria
- Columna termostatzada con rango de temperatura: ambiente+10°C-65°C.
- Automuestreador (200 vialesx2ml) con jeringa de inyección (0-50µl) con posibilidad de realizar incrementos de 1µl.
- Detector de Fluorescencia: Lámpara de Xe de 150W, y lámpara de Hg para chequear la longitud de onda. Presión 145psi.
- Bomba de gradiente ternaria VARIAN INERT 9012
- Detector Ultravioleta/Visible Jasco UV-975
- Detector de Fluorescencia Jasco FP-920
- Columnas disponibles: Vidac Hipersil (25mm x 4.6mm x 5µm) recomendada por EPA para análisis de PAHs), C18 (15mm x 4.6mm x 5µm), C18 (25mm x 4.6mm x 5µm).

## Instrumentación

Los componentes básicos de un cromatógrafo de líquido son:

- Dispositivo de suministro de eluyentes (Bomba y dispositivo de mezclado de eluyentes)
- Dispositivo de inyección
- Conducciones y conexiones
- Detector y registrador
- Columna

## 6. Análisis de restricciones

### 6.1. Ambientales

En cuanto a las restricciones ambientales, se realizó un estudio basado en el impacto que tuvo un fungicida sintético y un Biopesticida en el suelo, sin embargo, pocos estudios han confirmado el daño que un Biopesticida le hace al suelo, no obstante, se dice que los microorganismos del terreno juegan un papel importante en el funcionamiento del suelo. Por otro lado, en este estudio se realizó un análisis con las composiciones taxonómicas y funcionales del terreno, sin embargo, ni el Biopesticida ni el pesticida sintético tuvieron un efecto significativo sobre la diversidad microbiana. Cabe resaltar, que el bioplaguicida afectó a los taxones que estructuraban la red microbiana del suelo y los pesticidas modificaron las interacciones bióticas, es decir, que los bioplaguicidas y los pesticidas tienen impactos diferentes en el funcionamiento del suelo. En conclusión, hasta el momento no hay suficientes estudios donde se dimensione un riesgo potencial de los biopesticidas en el suelo, sin embargo, si se evidencia que tanto el plaguicida como el biopesticida tiene un impacto significativo en el microbioma del suelo.

### 6.2. Sociales

Se entiende que en la sociedad actual para un agricultor es muy difícil cambiar los productos que llevan utilizando durante año, tanto así que la primera restricción a nivel social que podemos encontrar en gran parte de Colombia es el desconocimiento de nuevas alternativas para la exterminación de diversas plagas descrito en el artículo investigativo “Determinación de la demanda del plaguicida natural “Healthy Nature” en el municipio del Socorro”. Así como la desinformación frente a los efectos nocivos de un plaguicida convencional, por lo tanto, simplemente confían en los resultados de los plaguicidas por lo que uno de los primeros

problemas sociales es la falta de desinformación de las personas frente a otras alternativas de exterminación de plagas.

Por otra parte, durante la investigación que realiza Aguirre y Delgado en el año 2010 muestran políticas que se implementaron en todo el mundo para el remplazo de plaguicidas convencionales, pero en la investigación del artículo “Determinación de la demanda del plaguicida natural “Healthy Nature” en el municipio del Socorro” se encuentra que a pesar de la aceptación que tienen los bioplaguicidas, también existen muchas inquietudes respecto a la eficiencia y calidad de los productos, Por lo tanto, se hace de suma importancia la implementaciones de políticas que generalicen el uso y los resultados de bioplaguicidas para la mitigación de los impactos que los pesticidas convencionales han generado durante años. (Mogollón, 2014).

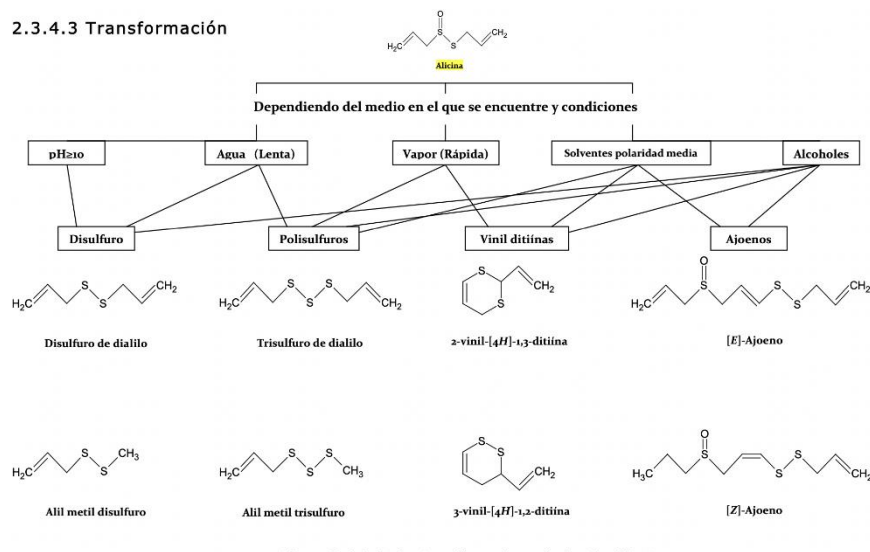
### 6.3. Capacidad de fabricación

Para poder dimensionar la capacidad de fabricación se tuvieron en cuenta los siguientes factores:

- Inestabilidad de la alicina.
- Disponibilidad de la materia prima.
- Disponibilidad del laboratorio y estudio de la efectividad en los cultivos del Tolima.

El primer factor que es la inestabilidad de la alicina puesto que tiende con facilidad a degradarse a otros productos, la inestabilidad de este compuesto se ve afectado por la temperatura ya que se puede transformar en ajoeno y viniloditiínas. También puede verse afectado por estar en contacto con el agua pues tiene la posibilidad de transformarse en trisulfuro de dialilo, para poder entender mejor las degradaciones de la alicina se agrega la figura 2.

**Figura 2.** Posibles degradaciones de la alicina por diferentes factores



**Fuente:** (Córdova Betancourt, 2010)

Como segunda restricción se relaciona la disponibilidad de la materia prima pues se debe tener en cuenta que el ajo se cultiva en dos épocas del año que son de enero a marzo y de octubre a noviembre, en el caso de la primera época la recolección ocurre entre mayo a julio (Quintero, 1984) por lo que en ciertos momentos la disponibilidad de ajo será muy limitada por lo que los precios tenderán a subir.

Como tercera restricción se presenta la falta de laboratorios por causa de la pandemia, puesto que no hay permisos para ingresar a los laboratorios de la universidad para la búsqueda experimental de las propiedades de la alicina del ajo y la preparación a futuro del bioplaguicida, asimismo, no logramos verificar la eficacia del producto puesto que para ello es necesario

realizar prácticas las cuales se han hecho imposibles por causa de la pandemia. Por otra parte, no logramos realizar visitas a los diversos cultivos para la revisión práctica de la eficiencia de la alicina frente a las diversas plagas que atacan al cultivo del aguacate Hass.

#### 6.4. Éticas

Algunas restricciones éticas que se tendrían al momento de realizar el proyecto se basan en el código de ética del ingeniero para actuar de la manera correcta sin romper los lineamientos de la profesión.

**Tabla 1.** Restricciones éticas

<b>Restricción</b>	<b>Restricción evaluada para el proyecto en ejecución</b>
Nombrar, elegir, dar posesión o tener a su servicio, para el desempeño de un cargo privado o público que requiera ser desempeñado por profesionales de la ingeniería o alguna de sus profesiones afines o auxiliares, en forma permanente o transitoria, a personas que ejerzan ilegalmente la profesión. (CPIQ, s.f.)	Para la futura realización e implementación del bio pesticida, se tendrá en cuenta que todos los colaboradores cuenten con sus papeles al día y si es profesional que tenga su respectiva tarjeta profesional para ejercer su profesión.
Permitir, tolerar o facilitar el ejercicio ilegal de las profesiones reguladas por esta ley. (CPIQ, s.f.)	Todos los participantes del proyecto deben seguir el código de ética y aplicarlo de manera adecuada y conforme lo dicta la ley.
Solicitar o aceptar comisiones en dinero o en especie por concepto de adquisición de bienes y servicios para su cliente, sociedad, institución, etc., para el que preste sus servicios profesionales, salvo autorización legal o contractual. (CPIQ, s.f.)	El proyecto biopesticida, debe supervisar que todo el dinero que se dirige para financiar alguna de las actividades sea legal y no aceptar ningún tipo de dinero extra por ofrecimientos no legales, es decir, dinero ilícito.
Ejecutar actos de violencia, malos tratos, injurias o calumnias contra superiores, subalternos, compañeros de trabajo, socios, clientes o funcionarios del Consejo Profesional Nacional de Ingeniería respectivo (CPIQ, s.f.)	La realización investigativa y en un futuro su posible desarrollo del proyecto se impulsará una cultura del respeto a los demás para crear un ambiente de trabajo amable y colaborativo, además se contará con personas capacitadas en servicio al cliente al momento de una posible comercialización, por otro lado, tener un trato cordial con los proveedores y entes a los que se les deba alguna declaración del proyecto.
Ejecutar en el lugar donde ejerza su profesión, actos que atenten contra la moral y las buenas costumbres. (CPIQ, s.f.)	Impulsar el correcto ejercicio de la profesión teniendo personas capacitadas, además de promover la cultura de ir por el bien común y no por el bien individual, lo

	cual afectaría el buen desarrollo del producto o proyecto.
--	--

**Fuente:** Elaboración propia. Datos tomados de: (CPIQ, s.f.)

### **6.5. Salud y seguridad**

Como el principal componente del posible biopesticida que se está proponiendo es la alicina, es necesario saber sobre sus efectos negativos sobre la salud humana y su seguridad. Un estudio realizado sobre los efectos de este componente sobre la salud del hombre ha demostrado impactos positivos y negativos; sin embargo, estos últimos se ven muy limitados. Dentro de lo positivo, se ha evidenciado que la alicina tiene propiedades que permiten el tratamiento y prevención de algunas enfermedades, tales como: diabetes mellitus, enfermedades cardiovasculares y cáncer, además de poseer capacidades antioxidantes y antimicrobianas. No obstante, como cualquier producto natural puede tener consecuencias adversas puesto que el consumo de la alicina en grandes cantidades, entre 30 a 50 mg, puede provocar irritación estomacal y síntomas gastrointestinales, además, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que la ingesta diaria de alicina este dentro de los 2 a 5 mg (Salehi et all, 2019).

### **7. Generación de posibles soluciones**

#### **7.1 PROCESO 1.** Biopesticida a base de citronela

El proceso de extracción de los aceites esenciales de la citronela comienza con la obtención del material vegetativo de la citronela en las cuales si es posible se debe incluir las hojas y el tallo, para tener una correcta extracción y que todos los aceites que necesitamos sean correctamente extraídos se debe hacer un secado a la sombra el cual se puede realizar con la ayuda de una lona que impida el paso de los rayos del sol directos a sí mismo en lo posible se debe controlar temperatura manteniéndola a 21°C y con una humedad de 30% .

Posteriormente por el método de calentamiento, el cual consistirá en obtener del material seco fracciones o partículas del menor tamaño posible para así obtener una muestra de 500 gramos de dichas partículas, el cual se dispondrá en cartuchos de papel filtro en el extractor soxhelt en el cual se usa como solvente etanol al 96% con el fin de separar los aceites que naturalmente posee la planta, la solución obtenida debe ser sometida a un proceso de destilación para separar el aceite de citronela del etanol. Se debe disponer en lo posible el aceite en un frasco de vidrio a una temperatura constante de 4 °C (Aguirre Yela & Delgado, 2010).

#### **7.2 PROCESO 2.** Biopesticida a base de ajo

Para la extracción de la alicina es importante aclarar que el ajo contiene en grandes cantidades aliina y para que este componente forme la alicina es necesario que este en contacto con la

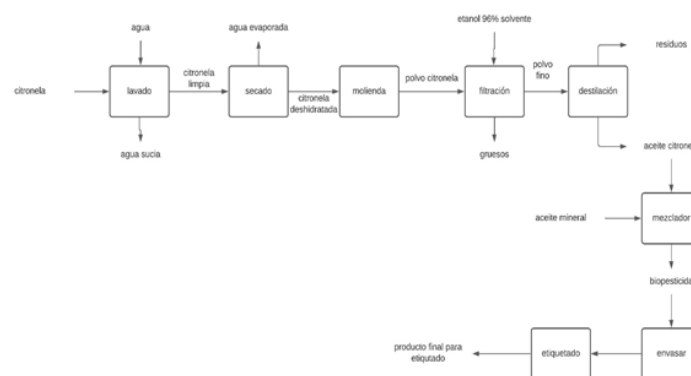
enzima alinasa que se encuentra en las vacuolas de las células, por este motivo el primer paso para la extracción del principio activo del ajo es hacer un proceso de trituración (Fenfang, Qiao, Shuanggen, & Zhijian, 2017), posteriormente de este proceso se le debe agregar una cantidad razonable de solvente a los trozos de ajo, este solvente puede ser cloroformo o acetato de etilo. Luego de esto, el ajo con el solvente se debe someter a una agitación con un baño ultrasónico durante aproximadamente 60 minutos y a temperatura ambiente, es importante que este a temperaturas bajas para evitar la degradación del compuesto de interés que es la alicina, después se debe filtrar los extractos con el propósito de separar los sólidos (trozos del ajo) que se encuentran suspendidos en el líquido. Para finalizar, la extracción de la alicina se debe usar un sistema de rota vapor, en este proceso no es necesario utilizar calor, este procedimiento tiene como finalidad eliminar los solventes que se usaron para extraer el principio activo y así obtener un sustrato de alicina más puro, en cuanto a la pruebas analíticas empleadas para conocer la composición del principio activo en el sustrato se puede utilizar cromatografía en capa fina, separación por cromatografía en columna y análisis por GC-MS (Córdova Betancourt, 2010). Este método de extracción fue seleccionado puesto que es un proceso que requiere cantidades relativamente bajas de insumos (solvente, el ajo y los equipos) y es una de las maneras más eficientes para extraer la alicina del ajo.

### 7.3. PROCESO 3. Biopesticida a base de eucalipto

En el proceso de extracción de los aceites del eucalipto se debe recolectar las hojas lo más frescas posibles y se debe observar que vengan libres de cualquier tipo de plaga para así poder hacer la extracción inmediatamente, para este proceso es necesario recolectar la mayor cantidad de hojas de eucalipto posibles, posteriormente se deben cortar las hojas en trozos lo más pequeños posibles, seguidamente colocaremos en un recipiente donde colocaremos las hojas y agua fijándonos que las hojas ocupen la mitad del agua adicionada, posteriormente se tapa el recipiente el cual debe estar provisto en la parte superior de una cabeza Claisen unida a un refrigerante de cobre, se calienta a temperatura de ebullición del agua, y se recoge la destilación obtenida que debe ser aceite puro de eucalipto (Aguirre Yela & Delgado, 2010).

## 8. Selección de la mejor alternativa

**Figura 3.** Elaboración del biopesticida a partir de la citronela.



**Fuente:** Elaboración propia.

En la figura 3 se puede observar el diagrama de bloques que definen el proceso de elaboración del biopesticida a partir de la extracción del aceite esencial presente en la citronela. El primer paso de este proceso es lavar la citronela para quitar suciedad y algún tipo de residuo presentes en la planta, luego se lleva a secado a una temperatura de 40°C y manteniendo una humedad relativa controlada del 30%, se obtiene la citronela deshidratada que posteriormente se llevará a la molienda para obtener un polvo y así hacer la respectiva filtración, usando como solvente etanol al 96% para obtener un polvo fino para posteriormente hacer una destilación con una presión reducida y a cierta temperatura y con un flujo constante de agua para así obtener el aceite esencial del eucalipto (Molina Millares & Méndez Herrera, 2018). Luego, se usa una solución de aceite mineral que servirá como vehículo para el principio activo, este se mezclará con el aceite esencial para así llegar al biopesticida, después se envasa y se etiqueta con las advertencias y modo de uso del producto.

**Figura 4.** Proceso de elaboración del biopesticida a base de ajo

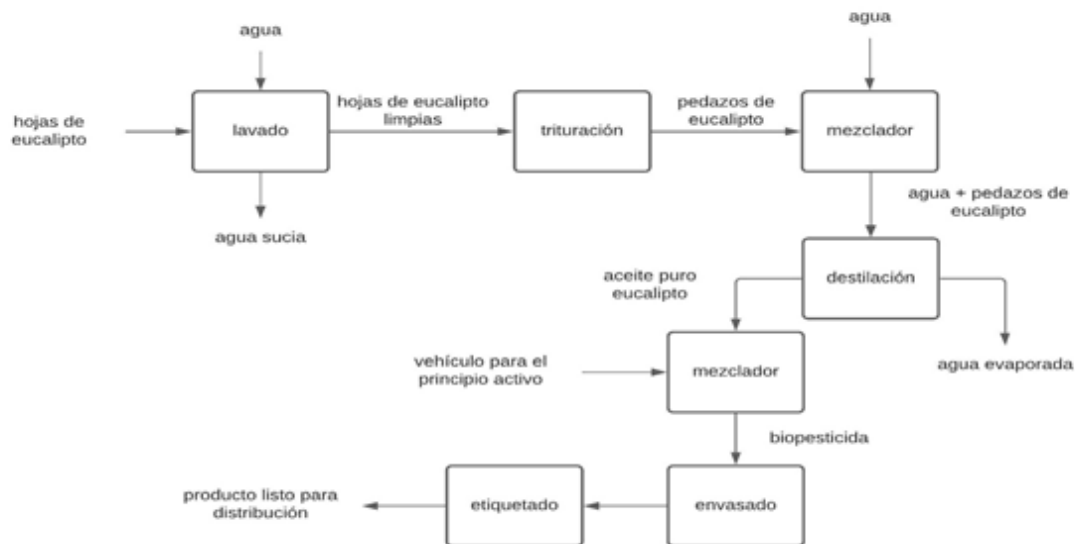


**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4 se muestra el proceso para la fabricación del biopesticida a partir del ajo, en este proceso es necesario la extracción de la alicina, la cual es la sustancia que le otorga el olor característico al ajo y será el principio activo del producto por su capacidad de repeler a los insectos de la planta (Aguirre Yela & Delgado, 2010). Lo primero es conseguir la materia prima que es el ajo y posteriormente se lavaran los ajos para luego iniciar un proceso de tritución con el fin de que el compuesto aliina entre en contacto con la enzima alinasa y formen la alicina, luego se lleva a un mezclador donde a los pedazos de ajo que salieron del triturador se mezclen con un solvente que en este caso será el acetato de etilo. Posteriormente, se llevará a un agitador asistida con ultrasonido para que el solvente entre con mayor contacto con los metabolitos del ajo, en especial con la alicina, esto se hará por un periodo de tiempo de 60 minutos, luego se llevará a un proceso de filtrado para separar los sólidos que se encuentran suspendidos en la mezcla de la alicina y el solvente, luego de realizar este paso es necesario hacer la separación del solvente de la alicina, para esto se usa un rota vapor que se manejará temperatura no mayor de 50°C debido a que la alicina es un compuesto que se degrada con mucha facilidad a temperaturas altas (Salehi et al, 2019). Luego de haber extraído la alicina es necesario preparar

las soluciones del vehículo para el principio activo para este caso se usará alcohol isopropílico y posterior a esto se obtendrá el biopesticida.

**Figura 5.** Proceso de elaboración del biopesticida a partir del eucalipto.



**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 5 se puede observar el paso a paso para la fabricación del biopesticida a partir del eucalipto. El proceso inicia con el lavado de las hojas del eucalipto, se procede a fraccionar estas hojas a pedazos más pequeños por medio de la trituración, luego estas hojas se someten al mezclador donde allí se mezclarán con agua para posteriormente hacer un proceso de destilación, este proceso se debe realizar a temperatura de ebullición del agua, luego se recolecta el aceite puro del eucalipto. Por otro lado, se debe seleccionar la solución que funcionará como vehículo donde se encontraron tres fórmulas para estos: la primera está constituida por propilenglicol y etanol, la segunda está conformada por etanol, propilenglicol y lanolina hidrosoluble y la última constituida por etanol, propilenglicol y lanolina hidrosoluble y emulsión de silicona al 60% para mayor fijación y según la literatura la que mayor efectividad presentó fue la primera (Aguirre Yela & Delgado, 2010). Después de seleccionar el vehículo se procede al mezclador para así formar el biopesticida que posteriormente se envasará y se hará el respectivo etiquetado con las advertencias y modo de uso.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente se dispuso que la mejor opción para la producción del biopesticida a base de ajo sería la del proceso descrito en la figura 2, asimismo no descartaremos la posibilidad de mezclar los aceites del eucalipto y de la citronela puesto que estos también son excelentes repelentes de plagas sobre todo las que atacan el cultivo del aguacate Hass. No menos importante, cabe resaltar que el pesticida a desarrollar se hará lo más natural posible, es decir, que será a base de químicos no tóxicos que aseguran el bienestar de las personas, de igual forma, se reemplazará el alcohol isopropílico en la formulación del biopesticida por el vinagre ya que se ha demostrado que la presencia de este compuesto en las fórmulas de alicina aumenta la vida útil de 10 a 17 días (Salehi et al, 2019).

## 9. Especificaciones de ingeniería para la solución

En cuantas especificaciones de ingeniería se considera necesario el estudio de materias primas para tener en cuenta sus propiedades fisicoquímicas para el proceso de extracción del compuesto clave del ajo.

### 9.1. Propiedades de la alicina

La alicina (pertenece al grupo tiosulfonato) es un compuesto que se encuentra principalmente en los dientes de ajo, alrededor del 4 – 5 mg de alicina se encuentra en un diente de ajo. Este compuesto volátil contiene azufre en su composición química, tiene baja solubilidad en el agua y este compuesto se produce cuando la aliina entra en contacto con la enzima alinasa que se encuentra en la cascara del ajo, además, la alicina tiene naturaleza hidrófoba y el característico olor del ajo es debido a este. Por otro lado, este compuesto tiende a degradarse a temperaturas altas y también en pH básicos, además la alicina es altamente reactiva, incluso llegando a formar enlaces covalentes a través de las biotransformaciones redox. Para finalizar, la alicina tiene propiedades antimicrobianas y anti fungicidas puesto que este elemento puede interferir en la síntesis de ARN y biosíntesis de lípidos, asimismo, bloquea la síntesis de acetyl-CoA, molécula importante para el metabolismo celular (Salehi et al, 2019).

**Tabla 2.** Propiedades del acetato de etilo

Propiedades del acetato de etilo			
Nombre	Descripción	Valor	Unidades
ZC	Factor crítico de compresibilidad	0,25808	
VC	Volumen crítico	0,28942	m <sup>3</sup> /kmol
PC	Presión crítica	3879492,8	N/m <sup>2</sup>
TC	Temperatura crítica	523,26	K
HFUS	Entalpia de fase de transición (Calor de fusión)	10485390,3	J/kmol
MW	Peso molecular	88,106	g/mol
TB	Temperatura de ebullición normal	350,1504	K
FREEZEPT	Temperatura del punto de congelación	189,67	K
SG	Gravedad especifica	0,906901	
TPT	Temperatura del punto triple	189,67	K

Fuente: Elaboración propia en Excel. Datos obtenidos del simulador ASPEN

**Tabla 3.** Propiedades del ácido acético

Propiedades de ácido acético (Vinagre)			
Nombre	Descripción	Valor	Unidades



<b>ZC</b>	Factor crítico de compresibilidad	0,220	
<b>μ</b>	Viscosidad a 25°C	1.056	mPa
<b>PC</b>	Presión crítica	839	PSia
<b>TC</b>	Temperatura crítica	599.77	K
<b>HFUS</b>	Entalpia de fase de transición (Calor de fusión)	11.73	KJ/mol
<b>MW</b>	Peso molecular	60,05	g/mol
<b>TB</b>	Temperatura de ebullición normal	289.76	K
<b>FREEZEPT</b>	Temperatura del punto de congelación	185,24	K
<b>DELTA</b>	parámetro de solubilidad 25 C	1000000	mg/mL
<b>T</b>	Tensión superficial a 25 °C	27.10	mN/ma
<b>P<sub>gas</sub></b>	Presión de Vapor 68 °C	11.4	mm Hg

Fuente: Elaboración propia en Excel. Datos obtenidos de Pubchem

**Tabla 4. Propiedades del agua**

<b>Propiedades agua</b>			
<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
<b>ZC</b>	Factor crítico de compresibilidad	0,22968	
<b>VC</b>	Volumen crítico	0,055989	m <sup>3</sup> /kmol
<b>PC</b>	Presión crítica	22071456,7	N/m <sup>2</sup>
<b>TC</b>	Temperatura crítica	647,1081	K
<b>HFUS</b>	Entalpia de fase de transición (Calor de fusión)	6007429,7	J/kmol
<b>DGFORM</b>	Formación de la energía de Gibbs (gas ideal)	-172273469	J/kmol
<b>DHFORM</b>	Calor de formación (gas ideal)	-241818000	J/kmol
<b>MW</b>	Peso molecular	18,015	g/mol
<b>TB</b>	Temperatura de ebullición normal	373,1472	K
<b>FREEZEPT</b>	Temperatura del punto de congelación	273,16	K
<b>DELTA</b>	Parametro de solubilidad 25 C	47911,9	(J/m <sup>3</sup> )**.5
<b>SG</b>	Gravedad especifica	1,000068	
<b>TPT</b>	Temperatura del punto triple	273,16	K

Fuente: Elaboración propia en Excel. Datos obtenidos del simulador ASPEN

Para las propiedades del acetato de etilo, ácido acético (vinagre) y del agua se dirigió al simulador aspen y la base de datos Pubchem, donde se buscó componente por componente puro y se determinó las propiedades que se pueden observar en las tablas anteriores. Dentro de las propiedades que se exhiben en la tabla las que más tienen grado de relevancia para la producción del biopesticida se encuentra la solubilidad, temperatura de ebullición y temperatura del punto triple, primero la solubilidad es importante debido a que la alicina sea bastante soluble en el solvente que en este caso es el etanoato de etilo, además que la alicina al final del proceso se disolverá en vinagre que este funcione como vehículo activo del biopesticida. Por otro lado, es importante conocer la temperatura de ebullición puesto que el solvente se evaporará en un rotavapor para retirarlo de la mezcla entre alicina-acetato de etilo.

## 9.2 Variables de ingeniería

Las variables a considerar en la elaboración de bio-pesticidas para verificar y evaluar su capacidad de repeler algunas plagas se presentan en la tabla 5.

**Tabla 5.** Definiciones de las variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Tipo de variable
Efectividad	La efectividad es la capacidad de lograr con éxito el objetivo que se propuso que en este caso es controlar la plaga (Varo, 1994).	La estimación de la efectividad del plaguicida está regida por la fórmula Abbott, este resultado está en un rango de 0 a 100% (Takakura, 2012).	Independiente
Toxicidad	La toxicidad es “la capacidad del plaguicida de producir un daño agudo a la salud a través de una o múltiples exposiciones, en un período de tiempo relativamente corto” (Lacasaña & Ramírez, 2001).	La toxicidad se puede medir dependiendo de la dosis letal media, es decir, la concentración letal media, donde los valores entre 0 y 10 representan altos niveles de toxicidad (Hassaan & El Nemr, 2020).	Dependiente - variable de efectividad
Persistencia	Se define como el tiempo en el cual el plaguicida se mantiene activo para realizar sus funciones y luego este se degrade en condiciones naturales (Narváez Valderrama, Palacio Baena, & Molina Pérez, 2012).	La Persistencia depende los días en los cuales está activo el plaguicida en la superficie y del porcentaje de degradación de éste (Narváez Valderrama, Palacio Baena, & Molina Pérez, 2012).	Independiente

**Fuente:** Elaboración propia. Datos tomados de: Varo (1994); Takakura (2012); Lacasaña & Ramírez (2001); Hassaan & El Nemr (2020); Narváez Valderrama, Palacio Baena, & Molina Pérez (2012).

Para realizar el análisis de datos se tendrán en cuenta las variables que se describieron en el apartado de definición de variables.

- Efectividad

La efectividad del plaguicida va a estar relacionada con el efecto verdadero del producto y la reacción o respuesta que genera la plaga frente al producto, este efecto puede ser de repelencia o mortalidad de los animales. Para conocer la efectividad de los plaguicidas y hacer la respectiva evaluación del mismo se ha de utilizar la fórmula de Abbott que se describe como (Takakura, 2012):

$$\%Eficiencia = 1 - \frac{1 - p_t}{1 - p_c} \quad (1)$$

Donde

Pt y Pc representan las proporciones de muertes del grupo de control y tratamiento a la cual se le está haciendo el control. Cuando el número de animales y el grupo de control es el mismo, entonces la ecuación anterior se transforma como:

$$\%Eficiencia = \frac{x_c - x_t}{x_c} \quad (2)$$

Donde Xt es el número de animales que sobrevivieron en el grupo de tratamiento, mientras que Xc es el número de animales que sobrevivieron en el grupo de control.

- Toxicidad

**Tabla 6.** Clasificación de los plaguicidas según su toxicidad

Clase	Toxicidad	Ejemplos
Clase IA	Extremadamente peligrosos	Paratión, dieldrin
Clase IB	Altamente peligrosos	Eldrin, diclorvos
Clase II	Moderadamente peligrosos	DDT, clordano
Clase III	Ligeramente peligrosos	Malatión

**Fuente.** Tomado de: Lacasaña, Ramírez (2001)

La toxicidad de un pesticida para un ser vivo puede ser de dos maneras: toxicidad por ingestión y toxicidad por contacto. Para evaluar la toxicidad se tiene en cuenta la dosis letal media y se clasifica según su peligrosidad como se puede evidenciar en la tabla 1, donde la clase IA se ubican los pesticidas con mayor peligrosidad y la clase III se encuentran los de toxicidad relativamente baja. (Lacasaña & Ramírez, 2001),

- Persistencia

La persistencia de los pesticidas va a depender de los procesos de degradación del mismo en condiciones ambientales, algunos de los procesos de degradación de los pesticidas convencionales son: biodegradación (reacciones enzimáticas que son provocadas por los microorganismos), fotodegradación e hidrólisis química (Narváez Valderrama, Palacio Baena, & Molina Pérez, 2012). En cuanto a la degradación del principio activo del biopesticida que es la alicina, este compuesto tiende a degradarse a temperaturas altas y su vida útil en medios ácidos es elevado, donde un pH entre 5-6 permite a este compuesto tener una vida media entre los 10 – 17 días (Salehi, y otros, 2019).





**Fuente:** Elaboración propia

En las anteriores figuras se pueden apreciar el proceso que se llevará a cabo para la extracción de la alicina. La figura 6 es el montaje que se realizó en el Software Aspen Plus para conocer el proceso industrial que se podría llevar a cabo al momento de la producción masiva del biopesticida. La figura 7 muestra el proceso que se llevará dentro del laboratorio, primero se lavará el ajo para limpiarlo de las impurezas (tierra, etc), se llevará a un proceso de trituración con el fin de que la extracción sea más eficiente, posteriormente se mezcla el ajo triturado con acetato de etilo (solvente) y se lleva a un proceso de agitado para que el solvente entre en contacto con el compuesto clave (alicina), luego es necesario que los residuos sólidos sean retirados de la mezcla del solvente-alicina para que posteriormente en el rotavapor sea retirado el solvente y se obtenga la alicina pura que se mezclará con el vinagre para generar el biopesticida. Para finalizar en la figura 8 se encuentra la representación del posible envase que se implementaría para la distribución del posible biopesticida que estará hecho de material totalmente reciclado y amigable con el medio ambiente.

## 11. Análisis de costos del diseño

En este apartado se realizará una estimación de costos a partir de una investigación sobre equipos, materias primas y mano de obra que se podrán utilizar para una futura realización del proyecto (Planta de producción), se hace una rigurosa estudio de mercado para conocer los costos, activos y pasivos que se necesitarán para que este proyecto se lleve a cabo.

Este apartado contiene el estudio económico detallado del diseño de la planta de producción del biopesticida, dentro de las cuales se tuvieron en cuenta cuatro aspectos importantes para la elaboración del mismo:

1. Activos, pasivos y patrimonio neto de la planta.
2. Estimación del costo de la planta y costo de operación.
3. Estimación del costo por unidad de producto.
4. Estimación del panorama de retorno de inversión.

## 11.1 Activos, pasivos y patrimonio neto de la planta

Para el primer apartado de “Activos, pasivos y patrimonio neto” de la planta se tuvieron en cuenta distintos aspectos para la elaboración de este, dentro de las cuales se encuentran:

**11.1.1. Activos:** Los activos representan los bienes y recursos que tiene la empresa para tener una operación correcta, para la planta del bio-pesticida se tuvo en cuenta los siguientes activos:

- Costos de los equipos.
- Costos de los accesorios y tuberías de la planta.
- Valor del predio que se adquiere para hacer la respectiva construcción de la planta.
- Automotores para transporte de carga dentro de la planta.

Tabla 7. Activos planta bio-pesticida

<b>Activos</b>	<b>Precio</b>
<b>Equipos y accesorios</b>	
Extractor (2)	\$ 164.000.000,00
Intercambiador (2)	\$ 7.290.294,00
Evaporador (1)	\$ 182.175.000,00
Mezclador (1)	\$ 21.861.000,00
Bomba	\$ 9.108.750,00
Valvula 1"	\$ 19.336.000,00
Tubos	\$ 717.000,00
Recubrimiento tubo 1"	\$ 848.000,00
<b>Lugar</b>	
Terreno	\$ 1.500.000.000,00
Montacargas	\$ 152.000.000,00
<b>Total</b>	\$ 2.057.336.044,00

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 7 se pueden observar los activos que se tuvieron en cuenta para la planta de producción del biopesticida, de aquí se puede analizar que el activo con mayor valor es el terreno debido a que este posee una gran área (aprox. 2 hectáreas) y se encuentra ubicado en el municipio de Fúquene, Cundinamarca, por otro lado, los costos entre equipos y accesorios representaron el segundo valor más alto, entre ellos el más costoso es el evaporador (necesario para la separación entre la alicina y el solvente) y el más económico es la tubería de acero al carbono, además, se tuvo en cuenta el costo de los montacargas que serán indispensables para el transporte de materias primas y producto dentro de la planta la tabla 7 se pueden observar los activos que se tuvieron en cuenta para la planta de producción del biopesticida, de aquí se puede analizar que el activo con mayor valor es el terreno debido a que este posee una gran área (aprox. 2 hectáreas) y se encuentra

**11.1.2 Pasivos:** Son todas las deudas y obligaciones adquiridas por una empresa para poderfinanciar los activos. En este caso los pasivos que se tuvieron en cuenta:

- Préstamo bancario para comprar equipos, terreno, automotores y demás cosas de

la planta.

- Contrato de transporte del ajo desde las fincas productoras de ajo hasta la planta de producción.
- Mantenimiento por hora de cada equipo.

Tabla 8. Pasivos planta bio-pesticida

<b>Pasivos</b>	<b>Precio</b>
Prestamos banco	\$ 1.632.336.044,00
Contrato transporte/mes	\$ 22.000.000,00
Mantenimiento/h	\$ 3.000.000,00
<b>Total</b>	<b>\$ 1.657.336.044,00</b>

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8 se puede observar los pasivos de la planta de producción del biopesticida, donde pasivo con mayor valor es el préstamo bancario que es fundamental para la adquisición de equipos, terreno, material, automotrices, etc. que son fundamentales para la operación de la planta, también se puede evidenciar un contrato de transporte el cual tiene un costo de 22 millones de pesos colombianos y representa el transporte del ajo de las fincas productoras a la planta y por último se anexo los costos por hora de mantenimiento de los equipos de la planta que de cierta manera representan un costo bastante elevado.

**11.1.3 Patrimonio:** El patrimonio neto son las inversiones propias que permiten la elaboración y funcionamiento de la empresa, aquí solo se tuvo en cuenta la inversión por los principales beneficiados (inversionistas).

Tabla 9. Patrimonio planta bio-pesticida

<b>Patrimonio neto</b>	<b>Precio</b>
Inversionistas	\$ 400.000.000,00

Fuente: Elaboración propia

## 11.2 Estimación del costo de la planta y costo de operación

Posteriormente, se realiza la estimación de costos de la planta y costos de operación, para esto se tuvo en cuenta el precio de la materia prima, la mano de obra, los costos parafiscales, además de tener en cuenta los gastos administrativos y los costos fijos que son las ventas y la licencia necesaria para empezar a vender el producto. El método para realizar esta estimación fue el de llave de reparto donde allí se tomó 100 unidades y con base en esto se realizó todos los cálculos que se verán a continuación.

Tabla 10. Costos y gastos de la planta

<b>Costos</b>		<b>Gastos</b>	
Mp	\$ 1.515.000,00	Administrativo	\$ 71.015.524,00
MO	\$ 7.133.409,00	Ventas	\$ 7.270.818,00
CIF	\$ 3.566.704,00	Licencia	\$ 5.588.519,00
	<b>Costo total</b>	\$96.089.974,00	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 10 se puede evidenciar los costos y gastos de la planta de producción del biopesticida, en cuanto a los costos se tienen en cuenta la materia prima, la mano de obra y el CIF (costos parafiscales) y en los gastos se anexan los valores de la parte administrativa, ventas en las cuales se tuvo en cuenta el personal que ayudaría a promocionar e impulsar el producto en el mercado, además de tener en cuenta la estantería donde se va a poner el producto donde se va a vender, además se agregó la licencia necesaria para sacar al mercado el producto. Por otro lado, la variable más costosa en este apartado es la parte administrativa ya que aquí se agregaron los costos de la persona que maneja la parte administrativa de la planta, también se anexaron los gastos de servicios públicos, en cuanto a la variable de menor valor es la materia prima pues solo se necesitan 3 componentes para la elaboración del producto.

Tabla 11. Materia prima

<b>Materias primas</b>	
Componente	Precio
Acetato de etilo	\$ 300.000,00
Vinagre	\$ 27.000,00
Alicina	\$ 1.188.000,00
<b>Total</b>	<b>\$ 1.515.000,00</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Pago trabajadores

<b>Trabajadores</b>			
Cantidad	Cargo	pago	Parafiscales
4	Ingeniero Químico	\$ 3.000.000,00	\$ 1.500.000,00
1	Jefe bodega	\$ 1.500.000,00	\$ 750.000,00
4	Operario	\$ 877.803,00	\$ 438.901,50
8	Cargeros	\$ 877.803,00	\$ 438.901,50
2	Transportadores	\$ 877.803,00	\$ 438.901,50
	<b>Total</b>	<b>\$ 7.133.409,00</b>	<b>\$ 3.566.704,50</b>

Fuente: Elaboración propia

En la parte de costos se tiene en cuenta los precios de la materia prima en este caso son: alicina, vinagre y acetato de etilo que se encuentran en la tabla 11, los cuales son los principales componentes del biopesticida. En esta tabla la variable que es más costosa es la de la alicina puesto que se necesita 44.000 ajos para obtener la cantidad de alicina para 100 unidades, por otra parte, se tienen en cuenta los costos de la mano de obra que se necesita en la planta de producción estos se encuentran en la tabla 12 allí se encuentran los pagos respectivos que se le debe hacer a cada persona adicionando sus correspondientes parafiscales, en este caso al profesional que más se le paga es al ingeniero químico y al jefe de bodega.

### 11.3 Estimación del costo por unidad de producto

Para la estimación de costo por unidad de producto es necesario tener el total de los costos que fueron calculados en el apartado anterior, donde el total fue de \$12.215.113,50 COP, además es necesario conocer el valor de la llave de reparto (este valor se tomó como 100, es decir, que las estimaciones que se están haciendo en este documento son para 100 biopesticidas), la relación entre estas dos variables nos da el costo unitario del producto que fue de \$122.151,14 COP; sin embargo, en la realidad del mercado, los productos son



vendidos más costos que el precio de producción esto se hace para recuperar más rápidamente la inversión y generar ganancias, por este motivo, se decide aumentar en un 35% al valor unitario por lo cual el precio de venta del producto es de \$164.904,03 COP, teniendo esto en cuenta, se puede calcular el MCU que es la diferencia entre el precio de venta y el costo unitario, es decir, la cantidad de dinero que se va a ganar por unidad de producto vendido, esta variable da como resultado \$42.752,90 COP, por lo que se puede decir, que se estaría ganando \$42.000 COP por cada producto vendido. Para finalizar, se encuentra el punto de equilibrio que es la relación entre los gastos y el margen de ganancia (MCU), este punto representa el tiempo en cuanto se puede generar el equilibrio de las ventas, es decir, cuando el tiempo necesario para cubrir los gastos de la planta, al realizar este cálculo, el punto de equilibrio da 1961,9.

Tabla 13. Costo unitario Bio-pesticida

<b>Costo unitario</b>	\$ 122.151,14
<b>Precio venta (+35%)</b>	\$ 164.904,03
<b>Pequil</b>	1961,9
<b>MCU</b>	\$ 42.752,90

Fuente: Elaboración propia

#### 11.4 Estimación del panorama de retorno de la inversión

En cuanto al retorno de la inversión se hace una estimación del precio por venta de \$100.000.000 COP (meta de ventas), luego de estimar la meta de ventas se debe generar un margen (Cu) el cual está dado por una correlación entre la meta de ventas y el 35% que se agrega al precio unitario para conocer el precio de venta real del producto. Teniendo estas condiciones se puede calcular el costo final (Cf); sin embargo, para realizar este procedimiento, es necesario estimar un punto de equilibrio, para el caso de esta planta de producción, se estableció un Pequil de 24 y dando como resultado \$1.560.000.000,00 COP, este valor indica que para recuperar y generar ganancias en 24 meses es necesario tener ventas de aproximadamente ese valor.

Tabla 14. Retorno de la inversión

Pv	\$ 100.000.000,00
Cu	\$ 35.000.000,00
Cf	\$ 1.560.000.000,00
Pequil	24
$P_{equ} = \frac{C_f}{P_v - C_u}$	

Fuente: Elaboración propia

Para finalizar se puede decir que el producto bio-pesticida a base de la alicina del ajo, tiene un costo unitario alto, pero esto se puede contrarrestar con los múltiples beneficios ambientales ya la salud que estos traen puesto que su tiempo de residencia en los alimentos no es alto, por ende, se presentaría menos casos por intoxicación. En cuanto al costo de operación y de la planta para la producción de 100 bio-pesticidas, el costo total es de más de 90.000.000,00 COP, esto representa aproximadamente un 24% del patrimonio de la compañía, por otro lado, el retorno de la inversión se estimó en 24 meses, esto indica que se deben tener ventas por más de 1.500.000.000,00 COP, para asimismo poder pagar las deudas



<p>este nuevo producto se utilice con mayor frecuencia y ampliamente.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La degradación del biopesticida puede efectuarse en más días de lo calculado por lo que puede quedar residuos de este en los cultivos o frutos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El aumento de producción de cultivos de aguacate Hass, hace necesarios productos fitosanitarios naturales que controlen las plagas.</li> <li>El acelerado crecimiento del mercado de biopesticidas hasta el punto de llegar a un crecimiento anual del 16% a comparación de un 3% de los pesticidas sintéticos.</li> </ul>
<p><b>Fortalezas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La selectividad puede que sea de cierta manera una debilidad; sin embargo, también puede representar una fortaleza con respecto a los plaguicidas convencionales puesto que esa característica permite seleccionar a la plaga y erradicarla sin hacer daño a otras especies de insectos o animales que no perjudican el cultivo, además, puede significar que no dañaran de manera radical al medio ambiente.</li> <li>Los biopesticidas tienen pocos niveles de toxicidad para la salud de los humanos y bajo ecotoxicidad por lo que es ideal para reducir el riesgo de intoxicación y daño de suelos y contaminación de agua.</li> </ul>	<p><b>Amenazas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Para los agricultores es necesario que los productos para la erradicación de plagas sean eficaces es por esto por lo que los plaguicidas químicos han sido los productos más usados para tal fin, por este motivo, es algo complicado introducir el biopesticida y que los agricultores usen esta nueva tecnología debido al temor de perder los cultivos.</li> <li>Obstáculos reglamentarios para la comercialización de un biopesticida, es necesario demostrar que es eficaz y no es tóxico para la vida y esto representa grandes cantidades de dinero que muchas veces derivan la no comercialización de estos productos.</li> </ul>

**Fuente:** Elaboración propia. Datos tomados de: Chandler et al (2011)

## Ventas de las principales empresas de pesticidas en Colombia

**Tabla 16.** Ventas de las principales empresas de pesticidas en Colombia

<b>VENTAS COLOMBIA (USD)</b>						
<b>Rankin (2019)</b>	<b>Empresa/año</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>
1	YARA COLOMBIAS.A	\$ 363,503	\$ 356,799	\$ 358,178	\$ 351,939	\$ 325,772
2	DOW AGROSCIENCES DE COLOMBIA S.A	\$ 170,751	\$ 200,797	\$ 189,781	\$ 171,521	\$ 177,515
3	PECISAGRO S.A.S	\$ 85,674	\$ 91,067	\$ 91,997	\$ 111,371	\$ 153,339
4	SYNGENTA S.A	\$ 89,272	\$ 93,084	\$ 80,807	\$ 71,269	\$ 96,683
5	PLANTA DE UNIPHOS COLOMBIA LIMITADA	\$ 36,273	\$ 35,389	\$ 46,152	\$ 41,141	\$ 94,808
<b>Total, ventas de las empresas</b>		\$ 745,473	\$ 777,136	\$ 766,915	\$ 474,241	\$ 848,117
<b>Ventas totales en Colombia</b>		\$1,611,998	\$1,708,441	\$1,699,310	\$1,624,524	\$1,683,756
<b>% de ventas de las empresas seleccionadas</b>		46.2%	45.5%	45.1%	46,00%	50,40%

**Fuente:** Elaboración propia. Datos obtenidos de la base de datos EMIS

El mercado de pesticidas en el país está conformado por varias empresas dentro de las cuales se destacan y tiene más influencia sobre el mercado son las que se muestran en la tabla 16, la primera empresa que es YARA COLOMBIA S.A es la que mayor tiene influencia en el mercado pues sus ventas son muy superiores a la de la segunda puesto que si analizamos los

datos de ventas del 2015 representa casi el 50% de las ventas que se generaron por esas 5 empresas en dicho año; sin embargo ya para los años posteriores esta empresa demuestra una gran caída en cuanto a estas cifra y para el año 2019 las ventas de las otras compañías se elevaron por lo que el porcentaje de ventas de YARA COLOMBIA S.A disminuyó considerablemente, llegando a representar aproximadamente el 40% de las ventas que se generaron para dicho año en cuanto a esas 5 empresas. Claramente, como se puede ver en la tabla, la introducción de un nuevo pesticida o biopesticida tendrá implicaciones bastante fuertes debido a las empresas de gran calibre que se encuentran en el territorio nacional; sin embargo, el biopesticida a proponer podrá tener buena introducción siempre y cuando demuestre una buena efectividad para repeler o matar la plaga.

### Tamaño del mercado

**Tabla 17.** Tamaño del mercado

TAMAÑO DEL MERCADO (dólares)					
	2015	2016	2017	2018	2019
Ventas	\$1,611,998	\$1,708,441	\$1,699,310	\$1,624,524	\$1,683,756
Activos	\$1,485,061	\$1,516,574	\$1,728,187	\$1,827,566	\$1,782,074
Beneficio	\$ 35,985	\$ 3,663	\$ 36,94	\$ 49,674	\$ 26,774
Patrimonio total de los accionistas	\$ 596,19	\$ 672,94	\$ 742,177	\$ 723,017	\$ 797,09

**Fuente:** Elaboración propia. Datos obtenidos de la base de datos EMIS

**Figura 10.** Ventas realizadas por el mercado de pesticidas en Colombia.



**Fuente:** Elaboración propia en excel. Datos obtenidos de la base de datos EMIS

En la gráfica anterior se puede apreciar las ventas que obtuvieron las empresas dedicadas a la fabricación de pesticidas y fertilizantes, dentro de los cinco años se puede evidenciar que entre el año 2015 y 2016 hubo un crecimiento de ventas bastante interesante; sin embargo, el mercado experimento un decrecimiento entre los años 2016-2018 que pudo representar una

recesión bastante débil puesto que en el siguiente año se recuperaron, no igual que en el 2016 pero aun así se puede evidenciar un leve crecimiento.

Para finalizar, a través de la investigación realizada se puede analizar los diferentes factores sociales, ambientales, económicos que pueden afectar y/o beneficiar este proyecto, además, en este caso se identificó que la alicina como la mejor solución para un pesticida natural que ataca una plaga en específico, el cornudo, el cual destruye el fruto de aguacate Hass, por ende, se trae un beneficio a este fruto que es clave en las importaciones de Colombia, además, en cuanto en el mercado de pesticidas podría llegar a resaltar debido a que no muchas empresas que manejen este tipo de productos naturales.

## **Conclusiones**

- Los biopesticidas a base de la alicina del ajo están expuestos a degradación puesto que para realizarlo se debe tener en cuenta una temperatura menor de 80 °C, además se debe evaluar el tipo de solvente en el que se va a hacer debido a que muchos de estos pueden ser alcoholes que pueden tener UFL Y LFL altos (consultados en la literatura) lo que puede producir peligro de ignición e influir en temas de toxicidad. Por otra parte, se debe tener en cuenta el proceso de la extracción ya que se requiere una evaporación del acetato de etilo que nos permite extraer la alicina, por ende, el proceso más adecuado para dicha evaporación es un rotavapor.
- La utilización de biopesticidas puede ser una alternativa más verde para la erradicación de plagas que afecten el cultivo del aguacate Hass debido a que este presenta bajos niveles de toxicidad humana y ecotoxicidad, asimismo, los biopesticidas presentan buenos niveles de efectividad en cuanto a repulsión o eliminación de las diferentes plagas; sin embargo, los biopesticidas tienen problemas para atacar a diferentes plagas debido a que presentan una alta tasa de selectividad, es decir, que este producto se crea para eliminar a cierta plaga, esto con el fin de no afectar a los otros animales y plantas que no representan ninguna amenaza para el cultivo.
- En cuanto el estudio de mercado hecho para observar el comportamiento del mercado de biopesticida en Colombia se pudo ver que como tal no hay una industria que se dedique a dicha comercialización, por ende, se miró la mayor competencia en cuanto a pesticidas, encontrando a YARA Colombia S.A que es el que tiene mayor porcentaje de ventas a nivel nacional, por esto sería la mayor competencia para el bio-pesticida a base de ajo pero una de las ventajas del bio-pesticida es que es menos tóxico y más amigable con el medio ambiente, esto beneficia el producto puesto que los compradores de hoy en día van en busca de productos que ayuden a conservar el medio ambiente, además que el bio-pesticida se degrada con mayor facilidad en los frutos y por esto se produce menor riesgo de ingesta de plaguicidas al ser humano.
- La comparación entre un pesticida convencional y un bio-pesticida a base de ajo, es que el primero genera mayor impacto ambiental en cuanto a suelos, aire, agua y la salud humana por los residuos que estos generan además que tienen mayor resistencia a la degradación por otro lado los biopesticidas a base de ajo tienen menor tiempo de degradación sus componentes pueden muchas veces ayudar a nutrir el suelo, no se ha demostrado que tenga algún impacto ambiental fuerte. Por otra parte, es importante resaltar que la mayor diferencia es la efectividad puesto que es más efectivo un pesticida químico puesto que tiene compuestos fuertes para la inhibición de variedad

de plagas por el contrario los bio-plaguicidas por que se degradan rápidamente no tienen la misma efectividad además que estos se hacen para plagas en específico.

- Los biopesticidas a base de alicina de ajo están exentos de las legislaciones que tienen los pesticidas convencionales puesto que ellos tienen un nivel bajo de toxicidad y de ecotoxicidad, así mismo, la evolución de algunas plagas ha provocado que sean un poco más complejo de exterminar, pero algunos estudios han permitido encontrar unas nuevas alternativas las cuales son amigables con el medio ambiente y con la salud de los seres humanos, teniendo como resultado la innovación de nuevos productos capaces de extinguir por completo dichas plagas en algunos cultivos, en nuestro caso en específico en el aguacate Hass.

## Recomendaciones

- Para finalizar, se sugieren algunas recomendaciones para la futura implementación del proyecto como la búsqueda de insumos que permitan la calidad del producto y la extracción de la alicina del ajo de manera fácil y rápida, así como, el estudio a detalle de la plaga que ataca directamente al aguacate hass puesto que es de suma importancia para el éxito del proyecto.
- Con base a los resultados obtenidos en la presente investigación, se recomienda realizar estudio detallado de diversas plagas que existen alrededor de los cultivos ya que esto permitirá la expansión del producto a diferentes partes de Colombia y del mundo, así como la búsqueda de diversos aliados y campesinos que deseen obtener productos amigables con el ambiente ya que esto permitirá la expansión del mercado que es una idea clave del proyecto.
- Se propone de igual manera estudiar de manera detallada en el laboratorio que cantidad de alicina se puede extraer de una cabeza de ajo a través de la metodología propuesta en el trabajo, así como, diversos análisis de durabilidad el producto en los cultivos de aguacate Hass en el caso específico del proyecto, cabe recalcar que con el biopesticida se espera atacar otras plagas de diversos cultivos.
- Se recomienda que, para futuras investigaciones, es necesario llevar a cabo esta investigación a campo, es decir, realizar las pruebas con el biopesticidas en cultivos de Aguacate Hass para comprobar la eficiencia, persistencia y toxicidad de este con el propósito de saber que tan factible es llevar este producto y proceso al mercado.

## Referencias.

Aguirre Yela, V., & Delgado, V. (2010). Pesticidas naturales y sintéticos. *Revista ciencia*, 43-53.

Akanksha, S., Ananya, S., Kriti, A., Megha, K., Puneet, K., Ashish, S., . . . Neha, S. (2020). Global trends in pesticides: A looming threat and viable alternatives. *Ecotoxicology and Environmental Safety*.

Alibaba. (2020). *Alibaba*. Obtenido de

<https://offer.alibaba.com/cps/osk9t9mc?bm=cps&src=saf&tp1=5fbb34d058f629740f3c22c0&tp2=186&tp3=CO&pid=5fbb34d34cbc5a000185062d&tp4=D&tp5=Spanish>

- Barcelona, U. a. (s.f.). sct.uab.cat. Obtenido de <https://sct.uab.cat/saq/es/content/cromatografia-liquida#:~:text=La%20Cromatograf%C3%ADa%20L%C3%ADquida%20de%20Alta,m%C3%B3vil%20hac%C3%ADa%20una%20columna%20cromatogr%C3%A1fica>.
- Benavides, S., & Echeverri, J. (2014). Validación de un método para el análisis de residualidad de plaguicidas en aguacate hass. *Revista Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia*, 94-107.
- Bokhary, A., Leitch, M., & Liao, B. Q. (2021). Liquid - liquid extraction technology for resource recovery: Applications, potential and perspectives. *Journal of Water Process Engineering* , 1-20.
- Brenes Flores, F. J. (2015). Biopesticidas: un antes y un después para el control de plagas. *Revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide*, 3-6.
- Chandler, D., Bailey, A. S., Tatchell, M., Davidson, G., Greaves, J., & Grant, W. (2011). The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. *Philosophical Transactions of The Royal Society* , 1987-1998.
- CPIQ. (s.f.). *Código de Ética Profesional*. Obtenido de Consejo profesional de ingeniería química de Colombia: [https://www.cpiq.gov.co/codigo\\_de\\_Etica\\_profesional-20/](https://www.cpiq.gov.co/codigo_de_Etica_profesional-20/)
- Córdova Betancourt, M. D. (2010). *Extracción y purificación de alicina a partir de ajo (Allium sativum L.): Implicaciones analíticas*. Santa Cruz de Xoxocotlán.
- CRODA. (s.f.). *Crop care*. Obtenido de <https://www.crodacropcare.com/es-mx/discovery-zone/market-areas/biopesticidas>
- EMIS. (2018). *Con un embarque de 22 toneladas de aguacate Hass, Colombia continúa las exportaciones a EE UU*. Obtenido de <https://www-emis-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/php/search/doc?dcid=604825492&ebSCO=>
- Fenfang, L., Qiao, L., Shuanggen, W., & Zhijian, T. (2017). Salting-out extraction of allicin from garlic (*Allium sativum L.*) based on ethanol/ammonium sulfate in laboratory and pilot scale. *Food Chemistry*, 91-97.
- Fournier, B., Pereira Dos Santos, S., Gustavsen, J. A., Imfeld, G., Lamy, F., Mitchell, E. A., . . . Heger, T. J. (2020). Impact of a synthetic fungicide (fosetyl-Al and propamocarb-hydrochloride) and a biopesticide (*Clonostachys rosea*) on soil bacterial, fungal, and protist communities. *Science of The Total Environment*.
- González Maza, M., Guerra Ibañez, G., Maza Hernández, J., & Cruz Dopico, A. (2014). Revisión bibliográfica sobre el uso terapéutico del ajo. *Revista Cubana de Medicina Física y Rehabilitación*, 61-71.
- Hassaan, M. A., & El Nemr, A. (2020). Pesticides pollution: Classifications, human health impact, extraction and treatment techniques. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 207-220.
- Homecenter. (2020). *Homecenter*. Obtenido de [https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/?kid=bnnext982473&gclid=CjwKCAiAtej9BRAvEiwA0UAWXs6\\_Ux5qD5n7B2pJ7hRvw70Xe81tJaG8auyOKPvbpVtDGg-R0Z8K\\_BoC-fUQAvD\\_BwE](https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/?kid=bnnext982473&gclid=CjwKCAiAtej9BRAvEiwA0UAWXs6_Ux5qD5n7B2pJ7hRvw70Xe81tJaG8auyOKPvbpVtDGg-R0Z8K_BoC-fUQAvD_BwE)

- ICA. (2012). *Manejo fitosanitario del cultivo del aguacate Hass*. Bogotá.
- Kala Phd, S., Sogan, N., Agarwal, A., Naik, S., Patanjali, P., & Kumar, J. (2019). Chapter 18 - Biopesticides: Formulations and Delivery Techniques. En C. Egbuna, & B. Sawicka, *Natural Remedies for Pest, Disease and Weed Control* (págs. 209-220). Academic Press.
- Lacasaña, M., & Ramírez, J. A. (2001). Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición. *Archivos de Prevención de Riesgos Laborales*, 67-75.
- Malvar. (2020). *Malvar*. Obtenido de [https://www.malvaringenieria.com/lana\\_mineral\\_roca.html](https://www.malvaringenieria.com/lana_mineral_roca.html)
- Molina Millares, A. T., & Mendez Herrera, L. D. (2018). COMPARACIÓN DE LA EFICACIA DEL EXTRACTO CITRONELLA (*Cymbopogon citratus*) COMO REPELENTE NATURAL EN BASE OLEOSA Y UN REPELENTE COMERCIAL EN BASE ETANÓLICA CONTRA MOSQUITOS ADULTOS DE LA ESPECIE *Aedes aegypti*.
- Mogollón, M. T. (25 de junio de 2014). universidad libre. Obtenido de file:///C:/Users/maria/Downloads/3881-Texto%20de%20art%C3%ADculo-6455-1-10-20181108.pdf
- M, L. (s.f.). Obtenido de [https://www.mncn.csic.es/docs/repositorio/es\\_ES/investigacion/cromatografia/cromatografia\\_liquida\\_de\\_alta\\_eficacia.pdf](https://www.mncn.csic.es/docs/repositorio/es_ES/investigacion/cromatografia/cromatografia_liquida_de_alta_eficacia.pdf)
- Narváez Valderrama, J. F., Palacio Baena, J. A., & Molina Pérez, F. J. (2012). Persistencia de plaguicidas en el ambiente y su ecotoxicidad: Una revisión de los procesos de degradación natural. *Gestión y Ambiente*, 27-38.
- Quintero, J. J. (1984). *El cultivo del ajo*. Obtenido de [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1984\\_01.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1984_01.pdf)
- Ramírez Guzmán, N., Chávez González, M., Sepúlveda Torres, L., Torres León, C., Cintra, A., Angulo López, J., . . . Aguilar, C. N. (2020). Chapter 1 - Significant Advances in Biopesticide Production: Strategies for High-Density Bio-Inoculant Cultivation. En J. Singh, & S. R. Vimal, *Microbial Services in Restoration Ecology* (págs. 1-11). Elsevier.
- Salehi, B., Zucca, P., Erdogan Orhan, I., Azzini, E., Oluwaseun Adetunji, C., Anwar Mohammed, S., . . . Ahmad, Z. (2019). Allicin and health: A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*, 502-516.
- Suárez Tamayo, S. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y epidemiología*.
- Takakura, K. I. (2012). Bayesian Estimation for the Effectiveness of Pesticides and Repellents. *Journal of Economic Entomology*, 1856-1862.



- Tehranirokh, M., Van den Bronk, M., Smith, P., Dai, Z., Rangunathan, K., Muscalu, A., . . . Shellie, R. A. (2021). Automated liquid-liquid extraction of organic compounds from aqueous samples using a multifunction autosampler syringe. *Journal of Chromatography A*, 1-6.
- Thakur, N., Kaur, S., Tomar, P., Thakur, S., & Yadav, A. (2020). Chapter 15 - Microbial biopesticides: Current status and advancement for sustainable agriculture and environment. En A. A. Rastegari, N. Yadav, & A. N. Yadav, *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering* (págs. 243-282). Elsevier.
- Varo, J. (1994). *Gestión estratégica de la calidad en los servicios sanitarios: un modelo de gestión hospitalaria*. Madrid: Ediciones Diaz de Santos, S.A.