

**ANÁLISIS DEL EFECTO ANTIFÚNGICO DE LOS HIDROLATOS AJO-AJÍ SOBRE  
LA MONILIA (*MONILIOPHTHORA RORERI*)**

**ISABEL SOFÍA LEÓN OSPINA**

**LESLEY MARIANA SANCHEZ GIRALDO**

**Proyecto de Grado para optar al título de  
Ingeniero Químico**

**Director**

**EDGAR FERNANDO MORENO TORRES**

**Ingeniero Químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**BOGOTÁ D.C.**

**2021**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

---

Edgar Fernando Moreno Torres

Director

Dany José Cárdenas Romay

Jurado

Jaime Eduardo Arturo Calvache

Jurado

Bogotá D.C. febrero 2021

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García -Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. María Claudia Aponte Gonzales

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretaría General

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Decano de la Facultad

Dr. Julio César Fuentes Arismendi

Director de programa de Ingeniería Química

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios, quien me guio a lo largo de este camino, y me brindó la sabiduría y las fuerzas necesarias para culminar esta etapa de mi vida. A mis padres Yalile Ospina y Guillermo León por su amor, paciencia, enseñanzas y apoyo incondicional desde el primer momento que decidí formarme como Ingeniera Química; a mis tías Fabiola, Jael y Mariela porque me apoyaron, comprendieron y aconsejaron en todo momento; a mis abuelos Martha Izquierdo y Guillermo León por darme todo su amor y apoyo durante este proceso; a mi hermano Samuel León por amarme y enseñarme que debo ser feliz a pesar de los obstáculos; a mi prima casi hermana Jessica Ospina por sacarme una sonrisa y acompañarme siempre sin importar la distancia que nos separa; a mi novio Esteban Nizo que me ha brindado la fuerza, valentía, compañía y amor para alcanzar lo que me propongo; a Alonso Sánchez por abrirnos las puertas de su casa y brindarnos el conocimiento necesario sobre el cacao y sus enfermedades; a nuestro director Edgar Moreno por guiarnos a lo largo de este trabajo de grado para que pueda ser culminado de la mejor manera; y a mi mejor amiga Lesley Sánchez por abrirme su corazón, permitirme trabajar a su lado, pasar momentos de tristeza y felicidad junto a ella, y lograr culminar nuestra carrera juntas.

**Isabel Sofía León Ospina**

En primer lugar, agradezco a Dios quien nos dio fuerza y valor en los momentos más difíciles y por permitirnos llegar hasta este momento tan importante en nuestra formación profesional. A mis abuelos paternos Alonso Sánchez y Blanca Mery Rodríguez por brindarnos su confianza y orientación para conocer acerca del cacao y la moniliasis dentro de su finca El Espejo, a mi abuela materna Victoria Reyes por sus consejos que me han ayudado a afrontar los retos a lo largo de la vida, a mis padres Aura Giraldo y Harvey Sánchez por su apoyo incondicional, amor y paciencia al corregir mis faltas y celebrar mis triunfos, a mi hermana Laura Sánchez por sus palabras de aliento y compañía en todo momento, a nuestro director Edgar Moreno por guiarnos y ayudarnos a culminar nuestro proyecto satisfactoriamente. Y finalmente, pero no menos importante a mi compañera y mejor amiga Isabel León porque sin ella nada de esto hubiera sido posible, además de ser parte de mi vida y compartir juntas el sueño de obtener el título profesional de ingeniería química.

**Lesley Mariana Sánchez Giraldo**

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el siguiente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	13
OBJETIVOS	15
1. GENERALIDADES DE LA MONILIA	16
1.1. Generalidades del hongo Monilia ( <i>Moniliophthora Roreri</i> )	16
1.1.1. Taxonomía	16
1.1.2. Caracterización microscópica	16
1.1.3. Caracterización macroscópica	18
1.1.4. Síntomas y signos	19
1.1.5. Ciclo de Vida	21
1.2. Control del hongo Monilia	23
1.2.1. Prácticas agrícolas	23
1.2.2. Modificación Genética	24
1.2.3. Fungicidas	25
1.2.4. Biofungicidas	27
1.3. Ventajas y desventajas de los controles para la Monilia	28
2. DETERMINAR EL ESTADO DEL ARTE DE LA CARACTERIZACIÓN Y OBTENCIÓN DE LOS HIDROLATOS AJO-AJÍ	32
2.1. Ajo	32
2.1.1. Descripción botánica del Ajo	33
2.1.2. Tipos de Ajo	35
2.1.3. Composición del Ajo	36
2.1.4. Principio activo	40
2.2. Ají	41
2.2.1. Descripción botánica del Ají	42
2.2.2. Tipos de Ají	44
2.2.3. Composición del Ají	45

2.2.4. Principio activo	48
2.3. Métodos de extracción para la obtención de los hidrolatos	50
2.3.1. Infusión	50
2.3.2. Purín	55
2.3.3. Maceración con solvente	58
2.3.4. Destilación por arrastre de vapor	62
2.3.5. Extracción por solvente (Soxhlet)	64
2.4. Ventajas y desventajas de los métodos de extracción	68
3. IDENTIFICAR EL EFECTO DE LOS HIDROLATOS AJO-AJÍ SOBRE ORGANISMOS PRESENTES EN FRUTO	72
3.1. Efectos de los hidrolatos del ajo	72
3.2. Efectos de los hidrolatos del ají	78
3.3. Efectos de los hidrolatos ajo-ají	83
4. COMPARAR EL USO DE LOS HIDROLATOS AJO-AJÍ FRENTE A LOS TRATAMIENTOS ACTUALES EN LA MONILIA	87
4.1. Condiciones de operación de aplicación	87
4.2. Duración de tratamiento	88
4.3. Equipos empleados en la aplicación	89
4.4. Impacto ambiental	93
5. CONCLUSIONES	95
BIBLIOGRAFÍA	96
ANEXOS	112

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Morfología microscópica.	17
<b>Figura 2.</b> Morfología macroscópica en caja Petri.	18
<b>Figura 3.</b> Macroscópica en el fruto del cacao.	19
<b>Figura 4.</b> Fruto joven infectado.	20
<b>Figura 5.</b> Fruto maduro infectado.	21
<b>Figura 6.</b> Ciclo de vida de la Monilia.	22
<b>Figura 7.</b> Descripción botánica del Ajo.	34
<b>Figura 8.</b> Tipos de Ajo según la coloración que protege el bulbo.	36
<b>Figura 9.</b> Estructuras químicas de los compuestos azufrados del Ajo.	39
<b>Figura 10.</b> Reacción para la formación de la Alicina.	40
<b>Figura 11.</b> Planta del Ají.	43
<b>Figura 12.</b> Tipos de Ají.	45
<b>Figura 13.</b> Estructuras químicas de los compuestos presentes en el Ají.	48
<b>Figura 14.</b> Equipos empleados para la cromatografía líquida de alta resolución.	50
<b>Figura 15.</b> Diagrama para la infusión.	51
<b>Figura 16.</b> Filtro Chromafil Xtra Pa-20/25.	52
<b>Figura 17.</b> Equipo para la extracción ultrasónica.	53
<b>Figura 18.</b> Diagrama para el purín.	56

<b>Figura 19.</b>	Mezclador tipo V.	57
<b>Figura 20.</b>	Biodigestor aeróbico.	58
<b>Figura 21.</b>	Diagrama para la maceración.	59
<b>Figura 22.</b>	Equipo empleado para la cromatografía en gases.	60
<b>Figura 23.</b>	Diagrama de destilación por arrastre de vapor.	63
<b>Figura 24.</b>	Diagrama de extracción por solvente (Soxhlet).	65
<b>Figura 25.</b>	Equipo para cromatografía de gas HP 6890 Plus.	66
<b>Figura 26.</b>	Equipos empleados para el control agrícola.	90
<b>Figura 27.</b>	Equipo empleado para el cultivo de la plántula en la modificación genética.	91
<b>Figura 28.</b>	Equipo empleado para el control químico y biológico.	92

## LISTA DE TABLAS

		pág.
<b>Tabla 1.</b>	Adecuación de suelos.	23
<b>Tabla 2.</b>	Ventajas y desventajas de los controles actuales para la moniliasis.	28
<b>Tabla 3.</b>	Generalidades resumidas para el cultivo del Ajo.	33
<b>Tabla 4.</b>	Composición química de <i>Allium sativum</i> .	37
<b>Tabla 5.</b>	Contenido de vitaminas en <i>Allium sativum</i> .	38
<b>Tabla 6.</b>	Contenido de minerales en <i>Allium sativum</i> .	38
<b>Tabla 7.</b>	Generalidades resumidas para el cultivo del Ají.	42
<b>Tabla 8.</b>	Composición química de <i>Capsicum Annum</i> .	46
<b>Tabla 9.</b>	Contenido de vitaminas en <i>Capsicum Annum</i> .	47
<b>Tabla 10.</b>	Contenido de minerales en <i>Capsicum Annum</i> .	47
<b>Tabla 11.</b>	Compuestos en el hidrolato de Ajo.	54
<b>Tabla 12.</b>	Crecimiento microbiano empleando etanol.	61
<b>Tabla 13.</b>	Rendimiento de solventes por extracción Soxhlet.	67
<b>Tabla 14.</b>	Ventajas y desventajas para los métodos de extracción.	68
<b>Tabla 15.</b>	Comparación cuantitativa de los métodos de extracción.	71
<b>Tabla 16.</b>	Inhibición de <i>Clostridium Perfringens</i> con hidrolatos de ajo.	72
<b>Tabla 17.</b>	Inhibición de <i>Penicillium Digitatum</i> con hidrolatos de ajo.	74
<b>Tabla 18.</b>	Inhibición de <i>Mycosphaerella Fijiensis</i> con hidrolatos de ajo.	75

<b>Tabla 19.</b>	Inhibición de <i>Aspergillus Parasiticus</i> y <i>Aspergillus Niger</i> con hidrolatos de ajo.	77
<b>Tabla 20.</b>	Inhibición de <i>Aspergillus Flavus</i> con hidrolatos de ají.	79
<b>Tabla 21.</b>	Inhibición de <i>Alternaria Solani</i> con hidrolatos de ají.	80
<b>Tabla 22.</b>	Inhibición de <i>Fusarium Oxysporum</i> con hidrolatos de ají.	81
<b>Tabla 23.</b>	Inhibición de <i>Aspergillus Niger</i> con hidrolatos de ají.	81
<b>Tabla 24.</b>	Inhibición de <i>Thysanoptera</i> con hidrolatos de ajo-ají	83
<b>Tabla 25.</b>	Inhibición de <i>Heliothis Armiger</i> con hidrolatos ajo-ají.	84
<b>Tabla 26.</b>	Inhibición de <i>Spodoptera Frugiperda</i> con hidrolatos de ajo-ají.	85

## RESUMEN

Los cultivos de cacao día a día enfrentan problemas por enfermedades causada por hongos, insectos y bacterias los cuales disminuyen la calidad del producto final generando grandes pérdidas económicas, es por esto que se usan comúnmente controles agrícolas, químicos y genéticos para disminuir sus efectos; sin embargo, existe una nueva tendencia de emplear biopreparados para minimizar los impactos negativos de dichos tratamientos en la fertilidad de la tierra, en cambios fisicoquímicos del fruto y contaminación hídrica, aérea y terrestre.

En este sentido se presenta un proyecto en el que se analiza los efectos de hidrolatos ajo-ají sobre el hongo *Moniliophthora Roreri* a través de investigaciones en diferentes bases de datos que presentan información sobre las generalidades de la Monilia, del ajo y del ají, métodos de obtención de los extractos y su efecto en diferentes patógenos, para así inferir cómo actuará sobre el hongo. De acuerdo con los resultados obtenidos a lo largo de la investigación, los hidrolatos ajo-ají extraídos a partir de maceración y/o extracción Soxhlet con etanol como solvente, muestran una eficaz inhibición sobre hongos patógenos similares a la Monilia asumiendo un comportamiento similar sobre este, así como los hidrolatos de orégano que logran alcanzar un porcentaje de inhibición del 75.2% a una concentración mínima del 40% por aproximadamente 12 días.

**Palabras claves:** *Moniliophthora Roreri*, hidrolatos ajo-ají, extracción, principio activo, efecto antifúngico

## INTRODUCCIÓN

La siembra de frutos en Colombia se ven afectados generalmente por hongos, larvas y/o malezas presentes en el tallo, hojas, frutos y en sus raíces; dañando gran parte de la cosecha del producto. Estas se tratan generalmente con prácticas agrícolas, modificaciones genéticas y el uso de pesticidas a base de químicos, que, aunque son efectivos en el control de la plaga, trae consigo efectos negativos en la fertilidad de la tierra, en cambios fisicoquímicos y contaminación hídrica, aérea y terrestre.

A partir de la problemática de contaminación y la falta de un producto efectivo contra las enfermedades de las plantas, se presenta la necesidad de remediar los efectos adversos, haciendo uso de nuevos controladores de plagas especialmente orgánicos que puedan contribuir con la disminución de costos de producción, impacto ambiental y afectación a la salud de los trabajadores.

Es por ello que el documento que se presenta a continuación, comprende un estudio de artículos, manuales, trabajos de grado y repositorios de distintas universidades, consultados en bases de datos como Scopus, Scielo, Dianlet, FAO, Federación Nacional de Cacaoteros y Redalyc con el fin de inferir el efecto antifúngico de los hidrolatos ajo-ají sobre la *Monilia (Moniliophthora Roreri)*, debido a que “es un hongo que ataca únicamente al cacao causando pérdidas en la producción de hasta un 50%, donde este fruto contaminado se trata como desperdicio, pues no presenta ningún componente que aporte a procesos como el abono y/o generación de energía” [1]; lo cual impedirá un crecimiento en la comercialización de un producto de alta calidad, y con esto perder oportunidades de convenios y reconocimientos con asociaciones comerciales que promueven la industria del agricultor.

Es por esto, que se estudia la oportunidad de mejora para el control de la moniliasis, partiendo de la investigación de sus características microscópicas y macroscópicas de dicho hongo, hasta sus tratamientos actuales evidenciado en el capítulo I, con el fin de conocer su comportamiento y reacción frente a estos; en este capítulo se evidencia las problemáticas ambientales, riesgos en la salud de los consumidores por el uso de productos con agentes químicos y/o cambios genéticos, y la ineficiencia de las prácticas agrícolas, dando paso al estudio de productos orgánicos que presentan propiedades antifúngicas con el fin de remediar los efectos adversos tanto del hongo como sus distintos procedimientos de eliminación, como es el caso de los hidrolatos ajo-ají.

En el segundo capítulo se analizarán las características tanto del ajo como del ají, capaces de otorgarles las propiedades antifúngicas, las cuales actuarán directamente sobre el hongo, y sus posibles métodos de extracción los cuales son la infusión, purín, maceración con solvente, destilación por arrastre de vapor y extracción Soxhlet, evaluando su proceso de obtención, condiciones de operación y costos de producción, con el fin de determinar el proceso de extracción más eficiente y rentable para los hidrolatos ajo-ají.

Una vez definidos los métodos de obtención, se estudia en el tercer capítulo, el efecto contra organismos patógenos de los hidrolatos de ajo, ají y en mezcla, analizando su concentración mínima de inhibición y porcentaje de mortalidad sobre hongos, insectos y bacterias, con la finalidad de inferir el posible efecto antifúngico de los hidrolatos ajo-ají sobre el hongo *Moniliophthora Roreri* presente en el cacao. Tras identificar el mejor método de obtención y su posible efecto antifúngico, se lleva a cabo una comparación entre dichos extractos y los métodos más comunes de control frente a 4 parámetros de aplicación, con el fin de observar y resaltar las ventajas del control biológico para ser implementado comercialmente como tratamiento contra la moniliasis.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Analizar el efecto de los hidrolatos ajo-ají para el control del hongo *Monilia* (*Moniliophthora Roreri*).

### **Objetivos Específicos**

- Determinar el estado del arte de la caracterización y obtención de los hidrolatos ajo-ají.
- Identificar el efecto de los hidrolatos ajo-ají sobre organismos presentes en frutos.
- Comparar el uso de los hidrolatos ajo-ají frente a los tratamientos actuales en la *Monilia*.

## 1. GENERALIDADES DE LA MONILIA

Para el correcto análisis del efecto antifúngico de los hidrolatos ajo-ají sobre el hongo *Moniliophthora Roreri*, es necesario conocer previamente sus características y su comportamiento en el fruto durante todo su ciclo de vida, con el fin de saber cómo actuará este frente a los distintos métodos de control y tener una visión aproximada del impacto de los hidrolatos ajo-ají sobre el mismo.

### 1.1. Generalidades del hongo Monilia (*Moniliophthora Roreri*)

La moniliasis es una enfermedad causada por el hongo Monilia (*Moniliophthora Roreri*) presente únicamente en el fruto de cacao desde que empieza su proceso de germinación y durante toda su fase de maduración, hasta la finalización de la misma [2]. Este se conoció por primera vez en el siglo XVIII en Antioquia, Colombia, se da generalmente en regiones de climas con humedad y temperaturas elevadas, pues estas condiciones promueven el desarrollo del patógeno y contribuyen con la severidad de la enfermedad. Llegando a presenciar apariciones significativas en países como Venezuela, Ecuador, Perú, Surinam y México. [2]

En Colombia dicha enfermedad debe ser estudiada y analizada ya que el cacao es el ingreso principal de aproximadamente 6 millones de agricultores, ocupando así un área para su cultivo cercano a las 177 mil hectáreas, siendo este país como el décimo productor en todo el mundo pues tiene un rendimiento casi de los 400 kg/ha, de lo cual se logra perder hasta un 50%, generando mayores pérdidas para los agricultores. [3]

#### 1.1.1. Taxonomía

“*Moniliophthora Roreri* es un organismo del dominio Eukaryota, reino Fungi, filum Basidiomycota, clase Basidiomycetes, subclase Agaricomycetidae, orden Agaricales, familia Tricholomataceae, género *Moniliophthora* y especie *M. Roreri*.” [4]

#### 1.1.2. Caracterización microscópica

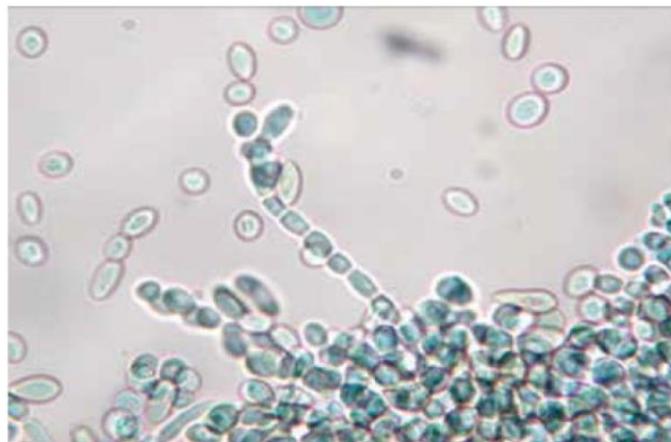
La caracterización microscópica se realiza por medio de una coloración en las colonias con azul de lactofenol, safranina y/o Lugol, determinando por medio de un registro fotográfico con un microscopio óptico de contraste de fase la longitud y el ancho tanto de esporas individuales como en cadena, además de verificar la presencia y/o ausencia de

esporas globosas o elipsoidales, y realizando la respectiva comparación por medio del software Imagen. [5]

Teniendo en cuenta las investigaciones realizadas, microscópicamente se observa que la *Monilia* tiene una morfología de hifas hialinas septadas con conidias ovoides o redondeadas, por lo que se encuentra clasificado como hongo basidiomiceto. Sus esporas se encargan del intercambio genético, la dispersión, infección y la supervivencia, las cuales pueden ser globosas, elípticas y/o subglobosas con un diámetro promedio entre 7-11  $\mu\text{m}$ . [6] En la Figura 1 podemos evidenciar la morfología microscópica del hongo *Monilia*.

**Figura 1.**

*Morfología microscópica.*



**Nota.** Morfología microscópica del hongo *Monilia*. Tomado de: P. Escobar et al., “Efecto in vitro de aceites esenciales de tres especies de *Lippia* sobre *Moniliophthora Roreri* (Cif. y Par.) Evans et al., agente causante de la moniliasis del cacao (*Theobroma cacao* L.), Revista Unal., vol. 61, no. 2, pp. 105-106, junio, 2012. [En línea]. Disponible en: [https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/view/35491/36145](https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/35491/36145)

### 1.1.3. Caracterización macroscópica

La caracterización macroscópica para la *Monilia* se realiza mediante el cultivo de sus esporas en cajas de Petri la cual debe contener agar de dextrosa y papa, considerando aspectos como la textura, borde, presencia o ausencia de anillos y el color del micelio teniendo en cuenta la carta de colores Munsell, además de determinar la tasa de crecimiento midiendo el diámetro de las colonias en un tiempo aproximado a los 18 días a 25°C. [5]

Tras analizar los resultados aislando el hongo *Monilia* se puede evidenciar la formación de una colonia con aspecto polvoso, con tonalidades beige y marrones, y un borde ondulado. Sobre el fruto se identifica una capa blanca con tonalidades grises, gruesa y polvosa, la cual es responsable de la esporulación de la enfermedad, considerándose como conidia madura [7]; respecto a la tasa de crecimiento se determinó que en promedio esta crece entre 3.3 y 4.3 cm tras pasar los 18 días de incubación. [5] En la Figura 2 podemos evidenciar la morfología macroscópica en la caja Petri del hongo *Monilia* y en la Figura 3 la morfología macroscópica sobre el cacao.

#### Figura 2.

*Morfología macroscópica en caja Petri.*



**Nota.** Morfología macroscópica en caja Petri del hongo *Monilia*. Tomado de: P. Escobar et al., “Efecto in vitro de aceites esenciales de tres especies de *Lippia* sobre *Moniliophthora Roreri* (Cif. y Par.) Evans et al., agente causante de la moniliasis del cacao (*Theobroma cacao* L.), Revista Unal., vol. 61, no. 2, pp. 105-106, junio, 2012. [En línea]. Disponible en: [https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/view/35491/36145](https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/35491/36145)

### **Figura 3.**

*Morfología macroscópica en el fruto del cacao.*



**Nota.** Morfología macroscópica del hongo Monilia en el fruto del cacao.

#### **1.1.4. Síntomas y signos**

Comúnmente el fruto del cacao suele presentar un tamaño, color y forma variable, dependiendo del tipo que se esté cosechando, ya que podemos encontrar el criollo, forastero y trinitario; aunque por lo general, este se caracteriza por tener forma similar a una baya con 30 cm de largo y 10 cm de diámetro con textura lisa, además de poseer un color amarillo y rojo durante sus primeros meses de maduración hasta lograr obtener un color chocolate o morado, lo cual significa que finaliza etapa de crecimiento [8]; por lo que al presentar la moniliasis los síntomas se evidencian significativamente en su morfología.

La infección del hongo Monilia en el fruto del cacao puede ocurrir en cualquier fase de desarrollo del mismo, sin embargo, es más susceptible de infectarse en los primeros tres meses provocando deformaciones y/o abultamientos seguidos por la aparición de manchas negras que se extienden cubriendo todo el fruto, y sobre esta mancha crece el polvillo blanco de la conidia madura [1], así como se puede evidenciar en la Figura 4. Si el fruto se infecta a sus tres meses de maduración se evidencian puntos amarillentos brillantes con apariencia aceitosa, que se va extendiendo hasta parecer una mancha de color chocolate, dándole una apariencia de falsa madurez; una semana después, se evidencia la aparición de conidias maduras, las cuales son un polvillo blanco con tonos grises de apariencia gruesa, responsable

de la esporulación e inafectación de otras semillas [1], así como se puede observar en la Figura 5.

#### **Figura 4**

*Fruto joven infectado.*



*Nota.* Moniliasis en el cacao en un fruto joven. Tomado de: J. Pinzón y J. Rojas, Guía técnica para el cultivo del cacao, 5a. ed. Colombia: Federación Nacional de Cacaoteros, 2012.

## Figura 5.

*Fruto maduro infectado.*



*Nota.* Moniliasis en el cacao presente en fruto maduro. Tomado de: J. Pinzón y J. Rojas, Guía técnica para el cultivo del cacao, 5a. ed. Colombia: Federación Nacional de Cacaoteros, 2012.

### 1.1.5. *Ciclo de Vida*

El crecimiento de la Monilia se ve directamente afectado por las condiciones climáticas y la cantidad de esporas libres en el ambiente. Para que se dé la infección es necesario contar con un alto grado de humedad, ya que las esporas crecen con facilidad en una película acuosa; finalmente su germinación se logra dar a partir de los 24°C, por lo que la velocidad de este proceso es directamente proporcional a la temperatura. Es necesario tener en cuenta que si el cultivo se encuentra a 1.200 m sobre el nivel del mar la enfermedad es menos agresiva, puesto que, en las áreas más frescas, el fruto se demora hasta 6 meses en madurar, y la enfermedad se demora hasta un mes para presentar sus primeros síntomas, y hasta 106 días para completar su ciclo; y en zonas cercanas al nivel del mar, la maduración de fruto se

alcanza en cinco meses y medio, por lo que la Monilia tiene un ciclo de vida mínimo de 61 días. [1]

En la Figura 6 podemos observar el ciclo de vida de la Monilia iniciando con el proceso de infección y germinación descrito anteriormente, seguido de presentar los primeros síntomas tras pasar 30 días aproximadamente, continuando con la presencia de manchas tanto en la parte interna como externa del cacao, logrando alcanzar a los 70 días una capa blanca que recubre el fruto, lo cual significa que este se encuentra totalmente infectado y puede propagar dicha enfermedad a frutos que se encuentren totalmente sanos por medio de la esporulación. [1]

**Figura 6.**

*Ciclo de vida de la Monilia.*



**Nota.** Ciclo de la Monilia. Tomado de: J. Pinzón y J. Rojas, Guía técnica para el cultivo del cacao, 5a. ed. Colombia: Federación Nacional de Cacaoteros, 2012.

## 1.2. Control del hongo *Monilia*

El control inmediato del hongo de la *Monilia* tiene como objetivo principal corregir y mejorar la germinación del fruto, de manera que permita un aumento en las áreas productivas disminuyendo los índices de incidencia de dicha enfermedad; por lo que en la actualidad se aplican tres diferentes técnicas, siendo estas el control agrícola, la modificación genética y el uso de fungicidas netamente químicos. [1]

### 1.2.1. *Prácticas agrícolas*

Para evitar la *Monilia* en los cultivos del cacao es necesario tener conocimiento sobre la temperatura a la que se encuentra el lote, ya que esta “debe estar entre los 20 - 30°C, con una temperatura óptima de 25°C, por lo que se puede instalar un cobertizo con una tela sombra o poli sombra que filtre la luz solar hasta un 30%” [9]; de lo contrario es necesario que el cultivo se encuentre cerca a otras plantaciones como los son el aguacate, coco o plátano con el fin de proporcionar una sombra permanente y natural. A su vez se requiere que el lote sea de suelo franco, es decir, con alta carga de material orgánico, en combinación con suelo arenosos y arcillosos; sin embargo, ya que no todos los suelos cumplen con estas características, este se debe adecuar según el tipo de lote a utilizar como se evidencia a continuación en la Tabla 1. [9]

**Tabla 1.**

*Adecuación de suelos.*

<b>Tipo de Suelo</b>	<b>Condiciones Básicas</b>
Cultivos viejos	Reducir la cantidad de fruto a cultivar, de modo que no afecte la composición del suelo.
Rastrojos	Solo se retiran del suelo los desechos orgánicos que afectan el cultivo, permitiendo así una mejor cosecha.
Montaña	Es necesario cultivar pequeñas cantidades cerca de árboles grandes con el fin de que le proporcionen sombra.

**Tabla 1. Continuación**

Tipo se suelo	Condiciones básicas
Potrero o pastos	Se prepara el suelo con el uso de nuevas tecnología, fertilizantes y abonos, para que este sea nuevamente fértil, por lo que su adecuación es más difícil y costosa.

*Nota.* Consideraciones básicas del suelo. Tomado de: Fundación Yarumo. Reactivar cacao en Cundinamarca, 1a. ed. Colombia: 2017.

Si se presentan síntomas de infección en el fruto se puede optar por la remoción delicada y exhaustiva justo antes de la esporulación, con el fin de que las conidias no se desprendan y contaminen los frutos de los alrededores, por lo que es indispensable que no quede ningún fruto infectado adherido al árbol, ya que esta será una fuente de contaminación segura; también es necesario realizar la poda del árbol para que se mantenga a baja altura y permita la circulación del aire removiendo la humedad ambiental. [1]

Los frutos que van llegando a su fase de maduración y presentan los primeros síntomas, deben ser retirados para evitar el avance de la enfermedad y se dé la pérdida completa del fruto; de lo contrario el fruto totalmente infectado debe retirarse y ser almacenado en bolsas plásticas, al cual se le agrega cal para disminuir el tiempo de descomposición. [1]

### **1.2.2. Modificación Genética**

La modificación genética de la semilla se realiza con el propósito de combatir la resistencia a la *Monilia*, enfermedades o sequías, adaptaciones al estrés como la tolerancia a la salinidad o condiciones altas o bajas de temperatura durante el día y la noche, efectuándose directamente en el gen de resistencia del fruto conocido como gen R, que responde o interactúa con el gen de virulencia que posea el patógeno que lo ataque, por lo que dicho procedimiento se lleva a cabo mediante la recombinación genética y la manipulación de germoplasmas. [4]

Esta modificación genética aumenta al desarrollo de semillas resistentes a enfermedades patógenas, donde otro método para que este procedimiento sea efectivo es por medio del uso de marcadores moleculares que cuenten con los rasgos apropiados para la defensa y resistencia hacia este hongo, o también mediante un conjunto de datos en otros

microorganismos que cuenten con polímeros de un solo nucleótido capaz de también resistir a este; sin embargo, estos dos métodos presentan una desventaja en común en cuanto al estudio de varias recombinaciones para el cacao modificado, debido a que se está presenta una baja resolución de mapeo. [3]

A pesar de las desventajas se puede lograr la modificación en la semilla del cacao, generando un alimento transgénico ya que se alteran las propiedades fisicoquímicas y organolépticas naturales, lo que conlleva a la disminución de su consumo por el riesgo que genera a la salud debido a la aparición de alérgenos, genes resistentes a los antibióticos y/o infecciones por patógenos, y así mismo posible mutación del hongo. [4]

### 1.2.3. *Fungicidas*

El control químico de la *Moniliophthora Roreri* es el segundo método más investigado y usado en Colombia, ya que como primer método son las prácticas agrícolas [4]; donde su principal objetivo es inhibir el crecimiento de dicho hongo y actuar como fertilizante, siendo los siguientes químicos los más utilizados para la fabricación de dicho producto: [4]

Mancozeb®: «Este fungicida pertenece al grupo químico de los Etilen Bis Ditiocarbamatos, que presenta un modo de acción multisitio en el hongo. Los Ditiocarbamatos se vuelven tóxicos cuando son metabolizados por la célula del hongo en el radical isotiocianato, el cual inactiva al grupo sulfidrilo en aminoácidos y enzimas de la célula fungosa, de esta manera interrumpe la actividad enzimática, además afecta la disrupción del metabolismo de lípidos afectando la permeabilidad de la membrana, o la disrupción de la respiración y la producción de ATP en la célula del hongo.» [10]

- Bayleton®: Es un fungicida sistémico donde prevalece el compuesto químico triadimefon al 75%, siendo este utilizado contra enfermedades fungosas, el cual es empleado de manera preventiva, curativa e incluso para erradicar por completo el patógeno; su mecanismo de acción inhibe la biosíntesis del ergosterol que realiza el hongo, perturbando el desarrollo de las hifas intracelulares, denominadas comúnmente como apresorios, así como el desarrollo del micelio y su propagación por esporulación. Este fungicida se caracteriza por ser ligeramente peligroso ya que cuenta con una toxicidad de grado III. [11]
- Mertect®: Su componente activo es el tiabendazol, haciendo que sea un fungicida con alto espectro sistemático, el cual actúa de manera protectora y curativa contra los hongos

patógenos y las enfermedades de las plantas, mediante la inhibición de la mitosis, deteriorando así el desarrollo y crecimiento del hongo. Su principal ventaja es el no causar daños en las células vivas del fruto y/o planta favoreciendo la productividad de los cultivos; sin embargo, una de sus desventajas más importantes es que dicho fungicida es altamente tóxico. [12]

- Plantvax®: Es un fungicida de acción sistémica, perteneciente a la familia de los oxicarboxin, caracterizado por atacar diferentes clases de royas y tener un efecto preventivo y curativo contra estas, es ligeramente tóxico por lo que su aplicación debe ser constante para atacar por completo al hongo, al degradarse en medios acuáticos puede ser altamente tóxico para sus organismos y puede ser mortal si se llega a ingerir o inhalar. [13]
- Oxido cuproso: El óxido cuproso al 75% resulta eficaz para el control de la antracnosis, minus, moniliasis, roñas y otras enfermedades producidas por hongos endopatógenos, sin embargo, su aplicación puede producir efectos fitotóxicos inhibiendo el crecimiento de la planta o provocando el envenenamiento de la misma; por otro lado, es ligeramente tóxico en medios acuáticos y puede causar una intoxicación aguda en seres humanos. [14]

Como se puede evidenciar los fungicidas más usados contra la Monilia son altamente efectivos, ya que atacan directamente el micelio del hongo evitando que éste contamine todo el fruto e incluso por medio de la esporulación infecte a otros frutos; sin embargo, presentan un riesgo de toxicidad muy alto para todos los ecosistemas por sus compuestos activos, convirtiéndolos en un producto poco favorable y altamente peligroso, pues hoy en día lo que se busca es que los productos no representen algún riesgo de contaminación o contra la vida humana, animal y vegetal, especialmente los productos de contacto directo como los fungicidas.

Adicionalmente, al estudiar ampliamente la resistencia de los fungicidas sobre hongos como la Monilia, se observa que a pesar de ser un método eficaz de control, los microorganismos tienen la capacidad de adaptarse y generar resistencia frente a ellos, por lo que serán menos susceptibles al efecto de los plaguicidas comprometiendo la función y eficacia del mismo, haciendo necesario el cambio del agente químico o la búsqueda para revertir su estado de resistencia, lo cual alteraría en un grado más la biodiversidad y las propiedades del fruto debido a que se expone a cambios drásticos de componentes químicos. [15]

#### 1.2.4. Biofungicidas

Los biofungicidas se caracterizan por ser productos de síntesis biológica, en donde su materia prima principal son restos de origen vegetal, animal o mineral, los cuales aportan propiedades nutritivas a la planta, y tienen como objetivo el control y prevención de las enfermedades causadas por hongos como la *Moniliophthora Roreri*; estos pueden ser clasificados según el método de protección ya sea como protector o sistémico:

- Protector: “La parte externa de la planta es recubierta para que el hongo no pueda producir enfermedad” [16]
- Sistémico: “Las defensas de las plantas se potencializan y una vez dentro del sistema inmune no va a parar de rechazar lo que no necesita eliminando así la enfermedad o contaminación del hongo”. [16]

El uso de estos biopreparados promueven la fuente de nutrientes biológicos para el suelo y el uso de materiales orgánicos, además de que tiene grandes beneficios para la salud de las raíces de la planta, la absorción de nutrientes y aumentar la tolerancia de las plantas al medio ambiente cuando se encuentre a condiciones de estrés, generando así una mayor eficiencia de los fertilizantes naturales; es por esto, que su principal ventaja es que al utilizar fertilizantes orgánicos se mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. [17]

Uno de los controles biológicos conocidos para la moniliasis es a partir de hongos o bacterias de diferentes especies en pruebas in vitro, en los que por medio de experimentaciones se evidencia un porcentaje de inhibición de aproximadamente un 75% para *Trichoderma harzianum* donde su efecto se da debido a que las hifas de este hongo se desarrollan sobre las de *Moniliophthora Roreri* causa deformaciones morfológicas y daño en su pared celular, y de 67,5% para *Bacillus subtilis* quien reduce la esporulación debido a la formación de endosporas y enzimas líticas que degradan la pared celular del hongo patógeno. [18]

El efecto antifúngico para *Trichoderma harzianum* también se estudió de forma in vivo, sobre 16 árboles de cacao criollo, con el fin de saber cómo este biofungicida actúa a las condiciones en las que se encuentra el cultivo, donde se aplicó por medio de aspersion 0.2 L de solución con *Trichoderma* por cada cacao presente en el árbol, con una incidencia de 15 días por aproximadamente 5 meses, evidenciando un porcentaje de eficiencia respecto al efecto antifúngico del 71.9%, por lo que es posible obtener resultados similares al estudio in

vitro, asegurando que este microorganismo es eficiente en cuanto a la disminución el crecimiento del hongo patógeno. [19]

Otro control que se ha estudiado para atacar el hongo *Moniliophthora Roreri* de manera in vitro, es el uso de hidrolatos de orégano obtenidos con destilación por arrastre de vapor usando como solvente el alcohol etílico, logrando alcanzar un porcentaje de inhibición del 75.2% a una concentración mínima del 40% por aproximadamente 12 días; este efecto se da ya que los principios activos del orégano son el timol y carvacrol que afectan la membrana citoplasmática, la pared celular, proteínas y coagulación del citoplasma del patógeno. [20] Estos resultados, permiten la investigación continua de otras especies vegetales con propiedades antifúngicas como el ajo y el ají.

Generalmente, el control con material vegetal es usado por agricultores debido a que es un proceso artesanal, económico, rentable y de fácil comercialización, generando un mínimo impacto ambiental contrarrestando los efectos de fungicidas netamente químicos que se han implementado; finalmente es necesario tener en cuenta que sus métodos de preparación constan de actividades sencillas como la extracción, las infusiones y la decocción de frutos con propiedades antifúngicas. [16]

### 1.3. Ventajas y desventajas de los controles para la Monilia

En la Tabla 2 se evidencian las ventajas y desventajas de los controles existentes para el hongo Monilia, con el fin de determinar cuál ha sido el más óptimo hasta el momento.

**Tabla 2.**

*Ventajas y desventajas de los controles actuales para la moniliasis.*

Control	Ventajas	Desventajas
Prácticas Agrícolas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todo agricultor que evidencie aparición de la Monilia en el fruto del cacao podrá aplicar este control y darle manejo con facilidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las condiciones de operación son muy específicas por lo que es necesario cumplir con el rango establecido para cada variable.</li> </ul>

**Tabla 2. Continuación**

<b>Control</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Prácticas Agrícolas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Este procedimiento no requiere de un personal altamente calificado.</li> <li>• El costo operacional no es elevado, pues solo dependerá de las horas a pagar gastadas por el trabajador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los frutos se pueden infectar fácilmente por medio de la esporulación del hongo, si este no se retira con extremo cuidado.</li> <li>• No elimina el hongo directamente, solo controla su propagación</li> </ul>
Modificación Genética	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Debido a que se modifica la resistencia a hongos patógenos, lo hace altamente efectivo, haciendo que los frutos no presenten moniliasis.</li> <li>• Se reduce el uso de los pesticidas netamente químicos.</li> <li>• Los cultivos tienen un rendimiento alto en cuanto a productividad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Su procedimiento es costoso (sobre los USD 100.000), debido a que es un tratamiento poco usado y que emplea una tecnología moderna. [21]</li> <li>• Es un producto transgénico, por lo que altera la composición natural del producto y puede causar afectaciones a la salud tras su consumo. [2]</li> <li>• Impacta directamente la biodiversidad, provocando la desaparición de otras especies que dependen de las características naturales de la planta.</li> </ul>

**Tabla 2. Continuación**

<p>Fungicidas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elimina por completo la aparición del hongo y previene su reincidencia.</li> <li>• El costo para adquirir el producto químico es bajo (entre 1200 a 60000 \$/litro), debido a que se encuentra fácil en el mercado. [22]</li> <li>• Existe una gran variedad de fungicidas en el mercado, por lo que se puede escoger dependiendo del tipo del patógeno a tratar y la cantidad del mismo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afecta de manera drástica los diferentes ecosistemas tanto en su elaboración hasta su aplicación en el fruto, pues se componen de compuestos altamente tóxicos como lo son el maneb, zineb, metiltiofanato, cloroneb e isocianato de metilo. [4]</li> <li>• Puede alterar sus propiedades organolépticas, y la composición del mismo. [4]</li> <li>• Al consumir el fruto expuesto a agentes químicos, puede alterar el sistema inmunológico de los humanos y provocar enfermedades de alto riesgo como el cáncer, dermatitis crónica, edemas pulmonares, entre otras. [1]</li> </ul>
-------------------	---	--

**Tabla 2. Continuación**

Control	Ventajas	Desventajas
Biofungicidas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Son totalmente orgánicos, por lo que no presentan peligro de contaminación ambiental.</li> <li>• No se modifica la composición del fruto y no altera la biodiversidad.</li> <li>• Su producción es económica debido al fácil acceso de la materia primas e insumos, tratándose de material biológico y orgánico, y solventes como agua o alcohol.</li> <li>• Su aplicación sobre el fruto es sencilla y sin un equipo especializado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se conoce en su totalidad la eficacia de este método debido a que su práctica es artesanal, muy poco común y no estudiada.</li> <li>• Existe poca diversidad de biofungicidas, por lo que su control es en patógenos muy específicos.</li> <li>• Su aplicación debe ser constante debido a que las propiedades de la materia primas no le permiten al producto permanecer mucho tiempo en el fruto.</li> </ul>

*Nota.* Ventajas y desventajas que presentan los diferentes métodos para el control del hongo patógeno denominado *Moniliophthora Roreri*.

Al analizar y comparar las ventajas y desventajas de los controles que tiene la moniliasis, se puede evidenciar que erradica por completo dicho hongo la modificación genética y el control químico, sin embargo, estos podrían provocar un impacto ambiental y en la salud de los consumidores, por lo que es necesario implementar nuevos controles como los biofungicidas para suplir su actividad con menos daños, logrando obtener los mismos resultados antifúngicos.

## **2. DETERMINAR EL ESTADO DEL ARTE DE LA CARACTERIZACIÓN Y OBTENCIÓN DE LOS HIDROLATOS AJO-AJÍ**

Con el fin de propiciar un control o erradicación de hongos patógenos como la *Monilia (Moniliophthora Roreri)* sin el uso de químicos altamente contaminantes y tóxicos, se estudia la formulación de biopreparados a base de principios activos antifúngicos presentes en los hidrolatos extraídos de distintos frutos. A partir de la revisión de diversas investigaciones [31], [32] y [34], se ha establecido que dos de los frutos que contienen un alto poder antifúngico son el ajo (*Allium Sativum*) y el ají (*Capsicum Annuum*), ya que su porcentaje de inhibición alcanza un 100% en hongos fitopatógenos [23], los cuales se caracterizan por aparecer en cualquier parte de su ciclo de vida inhibiendo el crecimiento y maduración del fruto.

### **2.1. Ajo**

El ajo (*Allium Sativum* L) es una especie que pertenece a la familia Liliaceae que comprende especies bulbosas como la cebolla, el echalote y el puerro, originaria de Asia central; fue conocida por otras culturas gracias a sus usos, culinarios, terapéuticos y antifúngicos expandiéndose así por países como España, Italia, Egipto, Argentina, México, Estados Unidos (California), China, India, Colombia, entre otros. [24]

En Colombia el ajo se cultiva en zonas cercanas a los 2300 y 2800 metros sobre el nivel del mar, donde su clima generalmente es frío y su temperatura varía entre los 14 y 20°C, requiere una humedad relativa entre el 60 y 70% ya que por debajo del rango se tendrá ausencias de precipitaciones las cuales favorecen la presencia de plagas, y por encima favorece la aparición de hongos; por otro lado, para su óptimo crecimiento necesita que el suelo presente una textura media franco-arcillosa, es decir, que en su composición el 45% es arcilla, 30% es limo y 25% es arena, lo cual favorece su aireación; sin embargo, se adapta también a suelos más pesados (75% de arena, 5% de arcilla y 20% de limo), solo si estos poseen buen acondicionamiento de agua y materia orgánica. [25]

Las generalidades resumidas para su cultivo se encuentran en la Tabla 3.

**Tabla 3.**

*Generalidades resumidas para el cultivo del Ajo.*

<b>Nombre científico</b>	<b><i>Allium sativum</i></b>
Origen	Asiático- Mediterráneo
Familia	<i>Liliaceae</i>
Variedad	Morado, Blanco, Rosado, Violeta, Colorado y Castaño
Periodo vegetativo	165 a 180 días o de 6 a 7 meses (según variedad)
Requerimiento de suelo	Ricos en materia orgánica y en sulfatos, con pH entre 5.8 - 6.5 o 7.5-8
Temperatura óptima promedio	14-20°C
Humedad	Humedad relativa entre 60 y 70%
Fertilizantes	60 kg/ha Nitrógeno, 150 kg/ha Fósforo y 90 kg/ha Potasio

**Nota.** Características de cultivo para el ajo. Tomado de: E. Calderón, Aportaciones a la mecanización de la siembra del ajo diseño de una sembradora neumática de precisión, Tesis doc., Facultad de Ingenierías Rural y Agropecuaria, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 2015, [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=117192>

### **2.1.1. Descripción botánica del Ajo**

Esta especie vegetal pertenece al orden Liliflora, familia Liliacea y subfamilia Allioidea, las cuales se caracterizan por ser plantas que poseen bulbos o rizomas, y sus hojas lanceoladas; se clasifica en el género *Allium* pues poseen un olor característico y sabor fuerte, y en la especie *Sativum* L, haciendo referencia a que es una planta cultivada y no es un fruto proveniente de un árbol. [26]

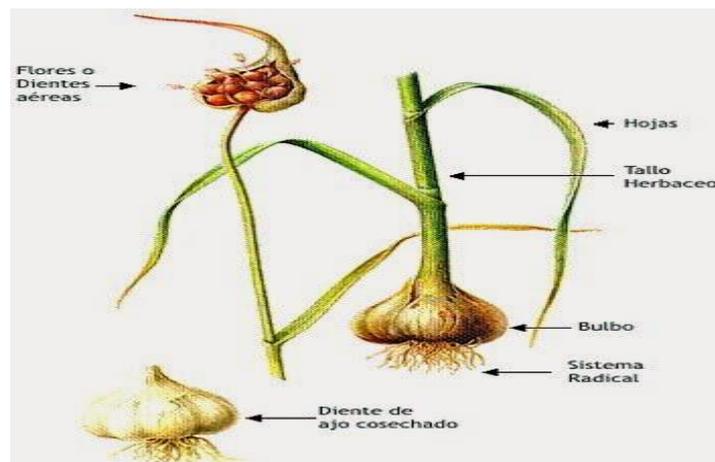
La planta de ajo se caracteriza por presentar una raíz fasciculada, es decir, que es larga, muy delgada y sin forma definida, de la cual salen pequeñas ramificaciones que cuentan con

un diámetro de 0.1 a 0.5 mm, y son capaces de alcanzar una profundidad entre los 40 y 50 cm. Posee un tallo en forma de disco subterráneo, de capa muy delgada, donde nacen las raíces y dan lugar a los dientes de ajo que forman la cabeza del mismo; esta cabeza es el bulbo de la planta la cual está formada por casquillos, más conocido como dientes, dando origen al pseudotallo, el cual es un tallo falso de la flor que nace de allí, el cual tiene forma cilíndrica. [26]

Las hojas de este fruto son lanceoladas de unos 40 a 60 cm de longitud y una anchura entre 30 a 40 mm, sin embargo, estas no cuentan con peciolo. Presenta un tallo floral, denominado escapo, ya que es un tallo que permite la formación de flores en la cima, el cual generalmente tiene una longitud entre los 40 y 100 cm y un diámetro alrededor de los 10 a 12 cm. Las flores presentan seis pétalos de color violeta, rojo y rosado, seis estambres y un pistilo que termina en un estigma filiforme, es decir, una forma cilíndrica alargada. [26] Esta descripción botánica se puede observar en la Figura 7.

### **Figura 7.**

#### *Descripción botánica del Ajo.*



**Nota.** Descripción de la planta del Ajo con sus partes. Tomado de: E. Calderón. Aportaciones a la mecanización de la siembra del ajo diseño de una sembradora neumática de precisión, Tesis doc., Facultad de Ingenierías Rural y Agropecuaria, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 2015, [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=117192>

### 2.1.2. *Tipos de Ajo*

El ajo posee diferentes clasificaciones, sin embargo, los tipos reconocidos internacionalmente están asociados al color que protege la cabeza del ajo, es decir el bulbo, donde se pueden encontrar seis tipos descritos a continuación y observados en la Figura 8: [27]

- Ajo rosado: Presenta una hoja de protección color rosado o tintes afines, con cuello duro y tallo floral; este ajo también recibe el nombre de paraguayo.
- Ajo morado: Aquellos bulbos presentan una hoja de protección de color morado, con un cuello duro y la presencia del tallo floral; a este tipo también se le puede llamar ajo chino.
- Ajo violeta: Los bulbillos presentan una hoja de protección blanca con suaves manchas violetas, un cuello blanco y sin la presencia del tallo floral; también es conocido como ajo violeta francés.
- Ajo blanco: Su hoja de protección es de color blanco o blanco amarillento, sin embargo, dentro del bulbo se encuentran pequeñas manchas violetas, con cuello blando y sin la presencia del tallo floral; también es llamado como mendocinos, californianos o americanos.
- Ajo colorado: Presenta una hoja de protección color rojo con un cuello duro que forma el tallo floral; también se le conoce como colorados mendocinos, españoles o valencianos.
- Ajo castaño: Los dientes presentan una hoja de protección de color café claro, sin embargo, su interior es de color blanco; también posee cuello duro y tallo floral; es conocido como ajo ruso.

## Figura 8.

*Tipos de Ajo según la coloración que protege el bulbo.*



**Nota.** Clasificación de los ajos, parte superior de izquierda a derecha: Rosados, violetas y castaños; parte inferior en el mismo orden: Morados, blancos y colorados. Tomado de: H. Escobar, H. Pinzón y M. Parra, “Producción de semilla garantizada de ajo”, Universidad Jorge Tadeo Lozano, [En línea]. Disponible en: [https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/publication/field\\_attached\\_file/pdf-produccion\\_de\\_semilla\\_garantizada\\_de\\_ajo-11-15.pdf](https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/publication/field_attached_file/pdf-produccion_de_semilla_garantizada_de_ajo-11-15.pdf).

### 2.1.3. Composición del Ajo

Entre los componentes presentes en el ajo, se destaca la presencia de agua y carbohidratos como la fructosa, también presenta compuestos azufrados, fibra y aminoácidos libres, evidenciados en la Tabla 4, por otro lado, dentro de la categoría de vitaminas contiene altos niveles de C y A, pero muy bajos del complejo B, como se evidencia en la Tabla 5. [28]. Así mismo, posee un contenido de minerales como el potasio, fósforo, magnesio, sodio, hierro y calcio, evidenciados en la Tabla 6, los datos obtenidos para estas tres tablas se realizan teniendo en cuenta 100 g de ajo fresco. [28]

«Entre los compuestos azufrados que predominan en el ajo se encuentran: alixina, alicina, aliina, ajo en, adenosina, alil metano tiosulfonato, dialil disulfuro, dialil trisulfuro, alil metil trisulfonato, S-alil mercaptocisteína, 2-vinil-4H-1,2-ditiina y 5-alilcisteína, como se evidencia en la Figura 8. En el ajo también se encuentran hormonas que actúan de manera

similar a las hormonas sexuales masculinas y femeninas. A su vez se evidencian otras sustancias como fermentos, colina, ácido hidrorodánico y yodo; además se han aislado hasta 17 aminoácidos entre los cuales se encuentran: ácido aspártico, asparagina, alanina, arginina, histidina, metionina, fenilalanina, leucina, serina, treonina, prolina, triptófano y valina.» [28]

Las estructuras químicas de los compuestos anteriormente mencionados se muestran en la Figura 9, donde estos hacen referencia a los compuestos orgánicos que presentan unión entre los átomos de azufre con los átomos de carbono, otorgándole el olor particular a los frutos, en este caso a Ajo, siendo estos determinados mediante cromatografía de gases y espectrometría de masa, o la secuenciación del ARN, analizando y comparando los resultados con bases de datos como NIST. [29]

**Tabla 4.**

*Composición química de Allium sativum.*

<b>Análisis Proximal</b>	<b>Cantidad</b>
Agua	58.58 g
Energía	149 kcal
Proteína	6.36 g
Lípidos totales	0.5 g
Carbohidratos	33.06 g
Fibra dietética	2.1 g
Azúcares totales	1 g

*Nota.* Composición química del Ajo por 100 g de fruto fresco. Adaptado de: United States Department of Agriculture, “Nutrient data for raw garlic”, USDA, marzo, 2016 [En línea]. Disponible en: <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2953?fg=Vegetables+and+Vegetable+Products&man=&lfacet=&format=&count=&max=25&offset=150&sort=&qlookup=>

**Tabla 5.***Contenido de vitaminas en Allium sativum.*

<b>Vitaminas</b>	<b>Cantidad</b>
Vitamina C	31.2 mg
Tiamina	0.2 mg
Riboflavina	0.11 mg
Niacina	0.7 mg
Vitamina B6	1.235 mg
Folato	3 µg
Vitamina A	9 UI
Vitamina E	0,08 mg
Vitamina K	1.7 µg

*Nota.* Contenido de vitaminas del Ajo por 100 g de fruto fresco. Adaptado de: United States Department of Agriculture, “Nutrient data for raw garlic”, USDA, marzo, 2016 [En línea]. Disponible en: <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2953?fg=Vegetables+and+Vegetable+Products&man=&lfacet=&format=&count=&max=25&offset=150&sort=&qlookup=>

**Tabla 6.***Contenido de minerales en Allium sativum.*

<b>Mineral</b>	<b>Cantidad</b>
Calcio	181 mg
Hierro	1.7 mg
Magnesio	25 mg

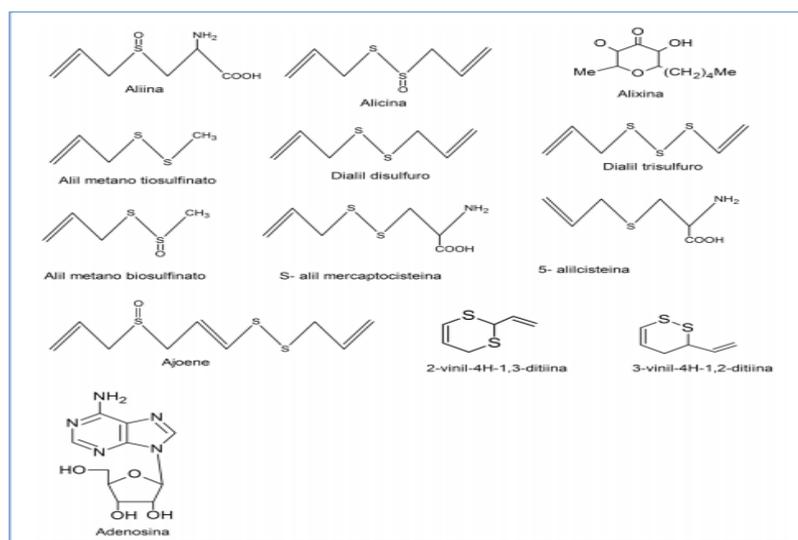
**Tabla 6. Continuación**

Mineral	Cantidad
Fósforo	153 mg
Potasio	401 mg
Sodio	17 mg
Zinc	1.16 mg

*Nota.* Contenido de minerales del Ajo por 100 g de fruto fresco. Adaptado de: United States Department of Agriculture, “Nutrient data for raw garlic”, USDA, marzo, 2016 [En línea]. Disponible en: <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2953?fg=Vegetables+and+Vegetable+Products&man=&lfacet=&format=&count=&max=25&offset=150&sort=&qlookup=>

**Figura 9.**

*Estructuras químicas de los compuestos azufrados del Ajo.*



*Nota.* Estructuras químicas de los compuestos azufrados del Allium Sativum. Adaptado de: United States Department of Agriculture, “Nutrient data for raw garlic”, USDA, marzo, 2016 [En línea]. Disponible en: <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2953?fg=Vegetables+and+Vegetable+Products&man=&lfacet=&format=&count=&max=25&offset=150&sort=&qlookup=>

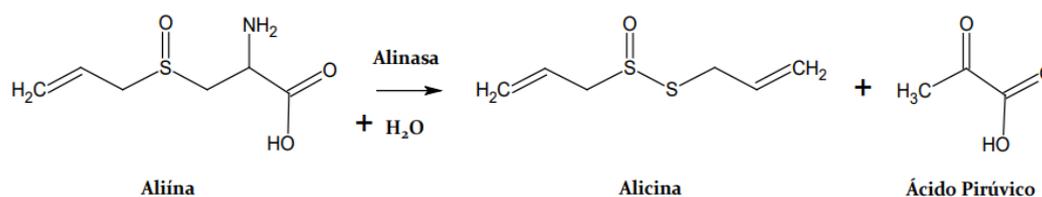
#### 2.1.4. Principio activo

Uno de los principales usos que tiene el ajo es la producción de biofungicidas, pues en su composición se destaca “una sustancia sulfurada inodora llamada aliina que por acción de la aliinasa es capaz de transformarla en la alicina, presente en la esencia de ajo, más conocido como hidrolato, y en levulosa” [30]. Este principio activo presenta efectos antimicrobianos y antimicóticos en algunos hongos como lo es la *Candida Albicans*, dermatofitos y levaduras patógenas, este efecto se da debido a que el hidrolato de ajo disminuye la absorción de oxígeno, provocando la reducción del crecimiento del hongo, el daño en sus membranas, y la inhibición de lípidos, proteínas y ácidos nucleicos. [31]

La alicina siendo este el principio activo antifúngico del Ajo, es obtenido cuando un ajo fresco rompe sus células por acción de un corte o triturado del mismo, lo cual permite que la enzima denominada linaza, actúe como catalizador, con el fin de convertir la aliina en dicho componente, teniendo como condiciones de reacción el contacto con el aire y un pH superior a 3, donde esta reacción es completada entre los 0.2 a 0.5 minutos. Dicha reacción se evidencia en la Figura 10. [32]

**Figura 10.**

*Reacción para la formación de Alicina.*



**Nota.** Reacción de la Aliina con la enzima Alinasa para la formación de Alicina. Tomada de: M. Córdova, *Extracción y purificación de Alicina a partir de ajo (*Allium Sativum L.*): Implicaciones analíticas*, Tesis mast., Facultad de Ingeniería, Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca, México, 2010, [En línea]. Disponible en; [http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/LITER\\_CIIDIROAX/8/C%33%93RDOVA%20BETANCOURT%20M%2c%202010.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/LITER_CIIDIROAX/8/C%33%93RDOVA%20BETANCOURT%20M%2c%202010.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Dependiendo del método de extracción que se use y de su solvente, se puede obtener hasta 100 mg de Alicina por cada 50 g de bulbos de ajo, donde al comparar su efecto antifúngico

con un fungicida netamente químico, siendo este fluconazol se ha determinado que este inhibe hasta un 95% el crecimiento del hongo, obteniendo un resultado similar al del fungicida pues este alcanza un 98%, promoviendo el uso de nuevos productos amigables con el medio ambiente que tengan porcentajes de inhibición similares. [33]

## **2.2. Ají**

El ají, el chile o pimiento picante son nombres colectivos o de comercialización para las especies pertenecientes al género *Capsicum* que se caracterizan por tener un sabor agrio y picante, y hace alusión a que las semillas de este fruto se encuentran encapsuladas en el carpelo; este fruto presenta formas cuadradas, cónicas o alargadas, sin embargo, no es tan definida su forma. Es originario de América, cuya área de diversidad está localizada en la región Andina y Amazónica de América del Sur, especialmente Bolivia y el sur del Brasil; sin embargo, en el Ecuador es posible encontrar dicho cultivo con más de 60 variedades. [34]

Con el fin de tener un cultivo sano y con una alta productividad, es necesario situarlo a 2000 metros sobre el nivel del mar con temperaturas promedio de 20 a 24°C, se puede ubicar en regiones montañosas donde persiste la nubosidad; en regiones con temperaturas mayores a 30°C y de baja humedad relativa, es decir menor al 60%, la planta no puede continuar su proceso de crecimiento, presentando caída de las flores e incluso su muerte; así mismo, esta planta es muy susceptible a las heladas por lo que también detiene el crecimiento de las ramas, flores y ramificaciones laterales. El suelo ideal del cultivo debe presentar un excelente drenaje de agua, que su textura sea franco-arenosa, y un pH entre el 5.8-7, sin embargo, cabe resaltar que tolera un poco la acidez. [35]

Las generalidades resumidas para su cultivo se encuentran en la Tabla 7.

**Tabla 7.***Generalidades resumidas para el cultivo del Ají.*

<b>Nombre científico</b>	<b><i>Capsicum</i></b>
Origen	América del Sur
Familia	Solanaceas
Variedad	C. annum, C. chinense, C. frutescens, C. baccatum, C. pubescens.
Periodo vegetativo	3 meses a 5 meses según la variedad
Requerimiento de suelo	Ricos en materia orgánica, con un pH de 5.8 -7, de textura franco-arenoso
Temperatura óptima promedio	20-24°C
Humedad	Humedad relativa del 60%
Fertilizantes	Cobre, zinc, calcio, magnesio, sodio, potasio y nitrógeno

*Nota.* Características del cultivo para el ají. Adaptada de: F. Vallejo, “El cultivo del pimentón *Capsicum annum* L.”, (s.f.). [En línea]. Disponible en: [http://www.bdigital.unal.edu.co/46253/16/958809528\\_Part03.PDF](http://www.bdigital.unal.edu.co/46253/16/958809528_Part03.PDF)

### **2.2.1. Descripción botánica del Ají**

Esta especie vegetal pertenece al orden Solanales y familia Solanaceae, los cuales se caracterizan por nacer en árboles o arbustos, y por presentar hojas simples, alternas y sin estípulas, además sus flores poseen normalmente 5 sépalos y 5 pétalos; se clasifica en el género *Capsicum* y según su forma la especie puede denominarse *Annum* L., *Chinense* Jacq o *Pubescens*. [34]

La planta de ají se caracteriza por presentar una raíz corta pero muy ramificada, donde sus raíces secundarias pueden alcanzar una profundidad entre los 5 y 40 cm, y su diámetro alcanza los 1.20 m. El interior de su tallo tiene la particularidad de ser leñoso, el cual puede

tener forma cilíndrica o prismática angular, glabro, erecto y con altura variable según su variedad, sin embargo, este se encuentra en un rango entre 0.30 y 1.2 m; cabe recalcar que las ramificaciones pseudodicotómicas, es decir unas más gruesas que otras, le dan la forma angular al ají. [36]

Las hojas de estas plantas son simples y alternas, con bordes lisos, de color verde oscuro y peciolo comprimidos; sus flores se encuentran localizadas donde se ramifica el tallo, encontrándose entre 1 y 5 por cada uno. El fruto consta de una baya alargada, redonda o cuadrada, que se compone únicamente del pericarpio y su semilla; donde la parte pulposa del fruto denominada mesocarpio tiene un espesor de 1mm, de textura seca y picante. [36] Esta descripción botánica de Ají se puede observar en la Figura 11.

**Figura 11.**

*Planta del Ají.*



**Nota.** Planta del Ají donde sus partes se evidencian por separado. Tomado de: Fundación de Desarrollo Agropecuario, “Cultivo de ají”, (s.f.). [En línea]. Disponible en: <http://www.cedaf.org.do/publicaciones/guias/download/aji.pdf>

### 2.2.2. Tipos de Ají

El ají posee una gran variedad de especies ya que se han creado híbridos, los cuales complican hacer un recuento de cada una de ellas, por lo que comúnmente se llega a clasificar dicho fruto según la escala Scoville, la cual consiste en determinar el picor de los ajíes obteniendo cinco tipos descritos a continuación y observados en la Figura 12:

- *C. chinense*: Se caracteriza por ser la especie más picante de los ajíes, debido a su contenido de Capsaicina ya que su valor es de 11.34 g/kg de fruto; se caracteriza porque sus semillas de color amarillo, un fruto maduro de color rojo claro, presentar una forma acorazonada, de olor fuerte acre y una textura semi rugosa, presenta una longitud promedio de 4.65 cm con un diámetro de 3.10 cm. [37]
- *C. annum*: Es el segundo ají más picante conocido comercialmente, ya que su contenido de Capsaicina es de 2.99 g/kg de fruto; se caracteriza porque sus semillas tienen un color crema, su fruto maduro presenta un color entre anaranjado y rojo, presentar una forma elongada, de olor fuerte y una textura lisa, cuenta con una longitud promedio de 2.17 cm con un diámetro de 0.61 cm. [37]
- *C. frutescens*: Según la escala Scoville es el tercero de los ajíes picantes, ya que su contenido de Capsaicina es de 2.05 g/kg de fruto; se caracteriza porque sus semillas son amarillas, el color de su fruto es naranja claro, presenta forma elongada, de aroma fuerte acre y una textura lisa, cuenta con una longitud promedio de 2.71 cm con un diámetro de 0.76 cm. [37]
- *C. baccatum*: Se caracteriza por tener un picor suave pues su contenido de capsaicina es de 1.16 g/kg de fruto; este presenta una semilla de color crema, un fruto maduro con un color naranja oscuro con tonalidades rojas, una forma redonda, de aroma suave y textura lisa, cuenta con una longitud promedio de 1.24 cm con un diámetro de 1.79 cm. [37]
- *C. pubescens*: Es el ají menos picante entre estas especies debido a que su contenido de Capsaicina es de 0.60 g/kg de fruto; se caracteriza por presentar semillas de color morado, un fruto maduro con coloración rojo obscuro con tonalidades de color vino, una forma redonda, con aroma fuerte y textura lisa, cuenta con una longitud promedio de 4.7 cm con un diámetro de 3.40 cm. [37]

## Figura 12.

*Tipos de Ají.*



*Nota.* Clasificación de los ajíes según la escala Scoville, siendo la superior izquierda la especie *C. Chinense*, la inferior izquierda la especie *C. Annum*, superior derecha la especie *frutescens*, la del medio lateral derecho la especie *baccatum* y la inferior derecha la especie *pubescens*. Tomado de: P. Yáñez et al., “Características morfológicas y de concentración de capsaicina en cinco especies nativas del género *capsicum* cultivadas en Ecuador”, *Ciencias de la Vida*, vol. 22, no. 2, pp. 12-32, noviembre, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5969838.pdf>

### 2.2.3. Composición del Ají

En el ají se presenta una gran variedad de componentes químicos que le otorga un valor nutricional alto, ya que allí se encuentra una proporción elevada de agua y una cantidad considerable de carbohidrato, de los cuales están determinados por la glucosa presente en el mismo ya que corresponde entre un 90-98% por lo que su restante es sacarosa; en este fruto

también es posible encontrar aceites volátiles, lípidos, aminoácidos y proteínas como se puede evidenciar en la Tabla 8. Así mismo, este fruto cuenta con un alto contenido en vitaminas A, C, B1, B2 y P que se encuentran en forma de provitaminas como  $\alpha$ -carotenos,  $\beta$ -carotenos y criptoxantinas como se puede ver en la Tabla 9; y además posee una abundancia en minerales como el hierro, calcio, magnesio y potasio mostrados en la Tabla 10. [34]

Además de todos los compuestos mencionados anteriormente, el ají posee compuestos químicos tales como la Capsantina, Capsorubina, Zeaxantina, Luteína y Capsaicina que le otorgan su color característico anaranjado-rojo y su sabor picante, donde sus estructuras químicas se evidencian en la Figura 13.

**Tabla 8.**

*Composición química de Capsicum Annum.*

<b>Análisis Proximal</b>	<b>Cantidad</b>
Agua	70%
Energía	116 kcal
Proteína	6.3 g
Grasas	0.8 g
Carbohidratos	12.4 g
Fibra	15 g

*Nota.* Composición química del Ají por 100 g de fruto fresco. Tomado de: F. Mejía, *Aislamiento y Caracterización Fisicoquímica de la Capsaicina de Tres Variedades de Ají*, Tesis pre, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador, 2013. [En línea]. Disponible en. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/5728/T-PUCE-5882.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**Tabla 9.***Contenido de vitaminas en Capsicum Annum.*

<b>Vitamina</b>	<b>Cantidad</b>
Carotenos	6.6 mg
Tiamina	0.37 mg
Riboflavina	0.51 mg
Niacina	2.5 mg
Vitamina C	96 mg

*Nota.* Contenido de vitaminas del Ají por 100 g de fruto fresco. Tomado de: F. Mejía, *Aislamiento y Caracterización Fisicoquímica de la Capsaicina de Tres Variedades de Ají*, Tesis pre, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador, 2013. [En línea]. Disponible en. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/5728/T-PUCE-5882.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

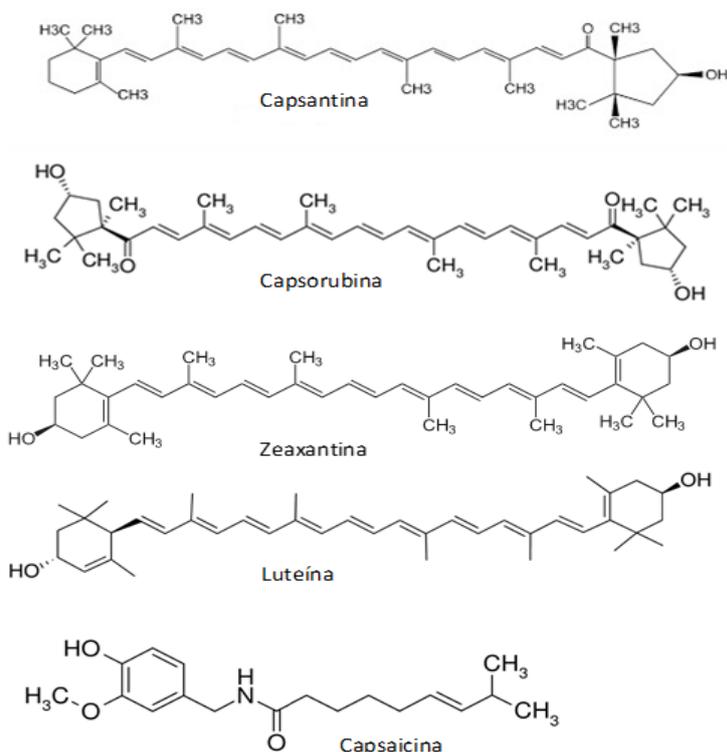
**Tabla 10.***Contenido de minerales en Capsicum Annum.*

<b>Mineral</b>	<b>Cantidad</b>
Calcio	86 mg
Hierro	3.6 mg
Magnesio	23.5 mg
Potasio	34 mg

*Nota.* Contenido de minerales del Ají por 100 g de fruto fresco. Tomado de: F. Mejía, *Aislamiento y Caracterización Fisicoquímica de la Capsaicina de Tres Variedades de Ají*, Tesis pre, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador, 2013. [En línea]. Disponible en. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/5728/T-PUCE-5882.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**Figura 13.**

*Estructuras químicas de los compuestos presentes en el Ají.*



**Nota.** Estructuras químicas de los compuestos presentes en Capsicum Annum. Tomado de: F. Mejía, *Aislamiento y Caracterización Fisicoquímica de la Capsaicina de Tres Variedades de Ají*, Tesis pre, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador, 2013. [En línea]. Disponible en. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/5728/T-PUCE-5882.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

#### 2.2.4. Principio activo

El ají posee un compuesto llamado Capsaicina que es capaz de otorgar propiedades antifúngicas al fruto, la cual es una sustancia nitrogenada de naturaleza lipídica clasificándose, así como un alcaloide; este no es un compuesto simple ya que consiste en una mezcla de varias amidas conocidas como capsaicinoides, donde estos compuestos se caracterizan por presentar nitrógeno extra cíclico y de carácter básico, siendo estos los productos del metabolismo de los aminoácidos. El efecto antifúngico se da por la

interferencia en la replicación del DNA del microorganismo y el transporte en su membrana, además de la inhibición de sus enzimas. [34]

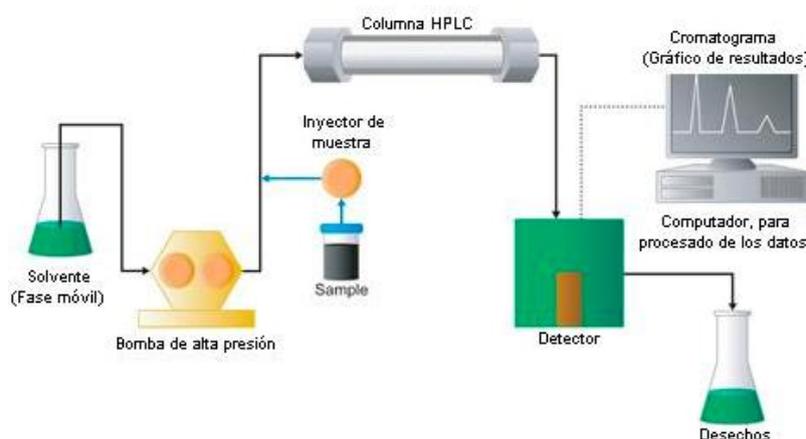
«La capsaicina está distribuida en mayor proporción en la placenta y el septo del fruto, en donde representa el 2.5 % de la materia seca mientras que en el fruto constituye el 0.6 %, en las semillas el 0.7 % y en el pericarpio el 0.03 %. En los frutos maduros, la capsaicina, sólo se encuentra en las capas externas de las placentas, es decir los tejidos que sostienen las semillas.» [34]

Este principio activo posee alcaloides capaces de modular el funcionamiento de los quimiorreceptores y nociceptores de los microorganismos patógenos y otros animales, entregándoles señales y estímulos de irritación potencialmente dañinos contra sus tejidos, por otro lado, afectan a su comportamiento y mecanismo de defensa induciendo al estrés y a su deterioro acelerado. [38]

Para poder determinar el contenido de capsaicina presente en el Ají se debe hacer uso de la cromatografía líquida de alta resolución, la cual consiste en cristalizar y triturar material vegetal, seguido de la suspensión de la misma en 2 ml de acetonitrilo y de la incubación teniendo como secuencia “1 hora temperatura ambiente y oscuridad continua, y 65°C con oscuridad durante 1 hora agitando suavemente cada 15 minutos” [39], seguido de la centrifugación por 15 minutos, donde el sobrenadante obtenido pasa a través de filtros de fluoruro de polivinilideno con un tamaño de poro de 0.22  $\mu\text{m}$  y lo obtenido pasa a ser analizado por medio de tecnología avanzada. [39] En la Figura 14 podemos observar los equipos empleados para la cromatografía líquida de alta resolución.

**Figura 14**

*Equipos empleados para la cromatografía líquida de alta resolución.*



*Nota.* Equipos empleados en la cromatografía líquida de alta resolución para determinar la concentración de capsaicina presente en el ají. Tomado de: A & C scientific SAC, “La cromatografía líquida”, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.acssac.com/2017/06/06/novel-technologies/>

### **2.3. Métodos de extracción para la obtención de los hidrolatos**

Para obtener los principios activos antifúngicos del ajo y el ají es posible implementar distintos métodos de extracción tanto físicos como químicos, donde dependiendo de las condiciones de operación y del correcto uso de los equipos empleados se podrá determinar la calidad y cantidad del producto final, en este caso los hidrolatos ajo-ají. Es por este sentido que se presentan a continuación los métodos más usados para la extracción de principios activos.

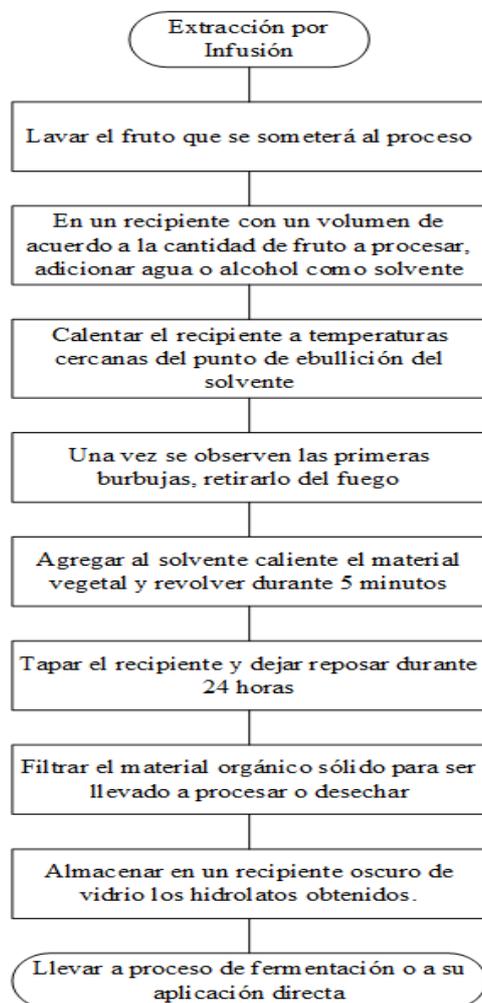
#### **2.3.1. Infusión**

Este método de extracción se caracteriza por ser muy conocido en la agricultura debido a que su proceso es artesanal y sencillo, empleando una separación por diferencial de temperatura en un determinado, el cual utiliza un disolvente, siendo este comúnmente agua o alcohol capaz de retirar el principio activo del fruto; sin embargo, se puede evidenciar que el alcohol es uno de los disolventes más efectivos debido a que este facilita la extracción de metabolitos secundarios que tienen propiedades fungicidas o insecticidas. [41] En la Figura

15 se puede evidenciar el proceso en diagrama de flujo empleado para este método de extracción.

**Figura 15.**

*Diagrama para la infusión.*



**Nota.** Diagrama de flujo para el proceso de infusión. Adaptado de: C. Salazar, C. Betancourth y T. Bacca, “Evaluación de extractos vegetales sobre mosca blanca en frijol en condiciones de laboratorio”, Revista de Ciencias Agrícolas, vol. 20, no. 1, pp. 50-61, enero, 2003. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/669>

Tras realizar el respectivo procedimiento para el método de extracción por infusión se recomienda que los hidrolatos obtenidos se sedimenten y se filtren por medio de un filtro Chromafil Xtra Pa-20/25 con el fin de retirar material vegetal que haya quedado en este proceso, donde en el interior de este equipo podemos encontrar una membrana hidrófila, que cuenta con un tamaño de poro de 0.20  $\mu\text{m}$  y un diámetro de 25 mm, la cual fue dispuesta ya que tiene la capacidad de filtrar líquidos orgánicos acuosos; estos filtros tienden a ser autoclaves que operan a 121°C y 1.1 bar por aproximadamente 30 minutos. [42] En la Figura 16 podemos observar el filtro utilizado en este procedimiento.

**Figura 16.**

*Filtro Chromafil Xtra Pa-20/25.*



**Nota.** Filtro Chromafil Xtra Pa-20/25 utilizado al finalizar el proceso de infusión para retirar material vegetal residual. Tomado de: DICROM, “Filtros de jeringa”, productos cicrom, (s.f.). [En línea]. Disponible en: <https://dicromingenieria.com.ar/product/filtros-de-jeringa-729212-chromafil-xtra-pa-20-25/>

En otras ocasiones se puede adicionar un procedimiento en la infusión, aunque este no es tan conocido ni usado para los agricultores, ya que no es artesanal, y requiere de equipos más especializados por lo tanto aumentaría costos y tiempos de operación, donde este proceso consiste en aumentar la concentración de los principios activos en los hidrolatos extrayendo el solvente por medio de la extracción ultrasónica, teniendo como principio físico la cavitación, es decir, expansión de burbujas en un líquido, trabajando por 30 min. [44] En la Figura 17 podemos observar el equipo utilizado para este procedimiento.

**Figura 17.**

*Equipo para la extracción ultrasónica.*



**Nota.** Equipo para la extracción ultrasónica empleada después del proceso común de la infusión. Tomado de: HIELSCHER. “Extracción catalítica asistida por ultrasonidos”, Tecnología de ultrasonido, (s.f.). [En línea]. Disponible en: <https://www.hielscher.com/es/ultrasonically-assisted-catalytic-extraction.htm>

Para obtener un hidrolato rico en el principio activo antifúngico del ajo, siendo este la Alicina, se estudia un diseño de experimentos realizado por I. Pradas, G. Pereira, J. Pérez y J. Moreno tanto para el ajo morado como para el blanco, en el que se compara el uso de tres diferentes disolventes siendo estos agua, una dilución de ácido clorhídrico y una dilución de etanol, su relación peso volumen y el tiempo de extracción, operando a temperaturas entre 40 y 70°C; evidenciando que la Alicina representa el 60% de los compuestos presentes en el

extracto para el ajo morado, mientras que para el ajo blanco tan solo el 53%, donde el resto de componentes se evidencian en la Tabla 11. [46]

**Tabla 11.**

*Compuestos en el hidrolato de Ajo.*

Compuesto	Ajo Blanco			Ajo Morado		
	Agua	Agua: HCL	Agua: Etanol	Agua	Agua: HCL	Agua: Etanol
Alicina	1610	1755	1792	2409	2613	2623
GSAC	246	287	317	662	704	751
GSPC	201	252	373	559	595	703
Aliina	11.5	11.9	8.3	11.9	12.8	15
SAC	37.9	29.9	7.5	17.2	10.8	3.7
Sulfuro de dialilo	10	10.1	13.5	2.2	2.3	3.5
Organosulfurados totales	2494	2894	2929	4404	4760	4772
Aminoácidos totales	177	191	89.5	153	148	89.6

*Nota.* Comparación del contenido de los principales compuestos organosulfurados y aminoácidos totales en las dos variedades de ajo estudiadas, correspondiente a los tres solventes utilizados en la proporción 1:5 entre gramos del material vegetal por mL de solvente, a 24 horas. Tomado de: I. Pradas et al., *Elaboración de un extracto de Ajo rico en compuestos saludables*, 1a. ed., Colombia, Instituto de investigación y formación agraria y pescadería, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/e057cb85-3f06-48a9-a6b3-1eaba717951a/download>

Al analizar la tabla anterior podemos evidenciar que al emplear en la infusión el agua como disolvente, se obtiene en mayor proporción el compuesto SAC y cierta cantidad de

aminoácidos, mientras que la dilución del ácido clorhídrico como disolvente, se obtuvo gran cantidad de aminoácidos por lo que la proporción de organosulfurados es baja, y cuando se utilizó agua-etanol como medio de extracción se obtuvieron mayores cantidades de alicina, aliina, GSAC, GSPC, sulfuro de dialilo y otros organosulfurados; es por ello que este es el disolvente que facilita la extracción del principio activo antifúngico. [46]

Respecto a la relación peso volumen entre la cantidad de ajo y el disolvente utilizado, se evidencio que al emplear la relación 2:5 la cantidad de principio activo antifúngico es alta, sin embargo, no es el doble que cuando se utiliza una relación 1:5, es por ello que esta proporción es la adecuada para emplear este método de extracción debido a que se obtiene una buena composición con poco fruto, y en cuanto al tiempo de reposo en el que se efectúa la extracción se evaluó entre 12, 24 y 48h obteniendo resultados de mayor composición en todos los compuestos a los 24h. [46]

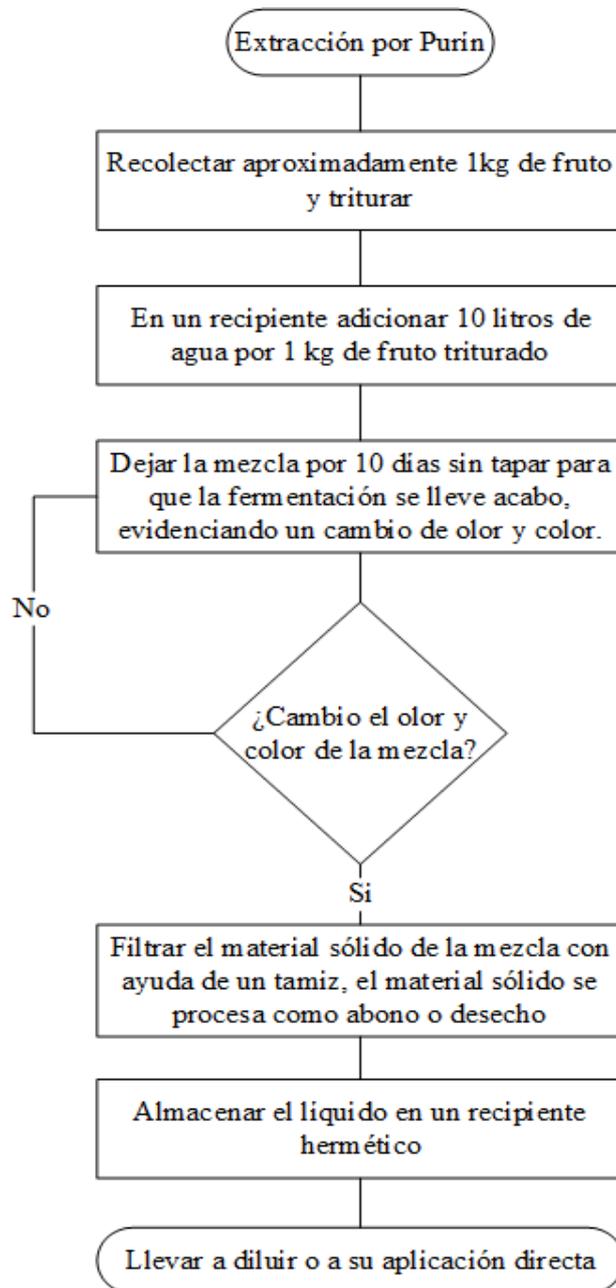
Para obtener el principio activo del ají, el cual es la capsaicina, se emplea este método con las condiciones de operación parecidas a las del ajo, debido a que este es un metabolito secundario que se puede obtener empleando agua como disolvente, obteniendo así rendimientos altos y con mayor concentración de su principio activo antifúngico; sin embargo, no se registra la composición específica de los hidrolatos del ají obtenidos por infusión.

### **2.3.2. Purín**

Este método de extracción consiste en sumergir material vegetal o desechos orgánicos en disolventes como el agua, que tras realizar una fermentación aeróbica es posible aumentar la carga nutricional y los metabolitos secundarios, en los cuales se encuentra el principio activo antifúngico de los frutos, donde es necesario que este procedimiento se realice en un pH aproximado a 7 con el fin de obtener óptimos resultados. El paso a paso para realizar el purín de ajo y ají se evidencia en la Figura 18. [47]

**Figura 18.**

*Diagrama para el purín.*



*Nota.* Diagrama de flujo para el proceso de purín. Adaptado de: FAO, *Biopreparados para el manejo sostenible de plagas y enfermedades en la agricultura urbana y periurbana*, 1a. ed., Bogotá, Colombia, 2010. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/as435s.pdf>

El método de extracción por purín no requiere de condiciones de operación exactas ya que este solo depende de la fermentación aerobia y una mezcla constante, por lo que su uso es artesanal y sencillo; sin embargo, se recomienda que el tamaño de partícula del fruto triturado debe estar entre 0.8 cm a 2 cm para que se presente mayor área superficial de contacto con el solvente. [47]

Durante el proceso se recomienda un homogeneizado de las partículas a través de tamices generalmente de 1.5 cm de diámetro para luego ser llevados al mezclador, usando como equipos unos mezcladores de tipo V como se muestra en la Figura 19, seguido de esto se realiza una división separando la cantidad material de material vegetal por porciones iguales dependiendo de la cantidad a sacar, posteriormente se lleva a un biodigestor aeróbico como el que se muestra en la Figura 20, ya que este permite la degradación de los purines y su fermentación por un tiempo de 10 a 21 días aproximadamente, finalmente se prosigue al tamizado donde el material sólido pasa a un proceso de secado a 45°C por 24 horas, haciendo uso de aire forzado y terminando dicho proceso con una molienda para que este producto sea procesado como abono, y el líquido obtenido se envasa en un recipiente hermético para su aplicación. [48]

**Figura 19.**

*Mezclador tipo V.*



**Nota.** Mezclador de tipo V usado para la homogeneización y mezcla de agua con el material vegetal en el proceso de purín. Tomado de: LLEAL S.A., “Mezclador de sólidos en V de laboratorio”, Producto feria virtual interempresas química, (s.f.). [En línea]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Quimica/FeriaVirtual/Producto-Mezclador-de-solidos-en-V-de-laboratorio-BL-8-BL16-66675.html>

**Figura 20.**

*Biodigestor aeróbico.*



*Nota.* Tanque con filtro de aire para la biodigestión y fermentación aeróbica de los purines. Tomado de: SOGA, “Tanque filtro aeróbico”, Tienda ambiental SOGA, (s.f.). [En línea]. Disponible en: <https://tiendasoga.com/producto/tanque-filtro-aerobico-bajito/>

A pesar de la documentación descrita anteriormente, para este proceso no es posible encontrar datos sobre el seguimiento y tratamiento con purín a base de material vegetal, por lo que solo se encuentran condiciones y aplicación de purines a base de estiércol animal.

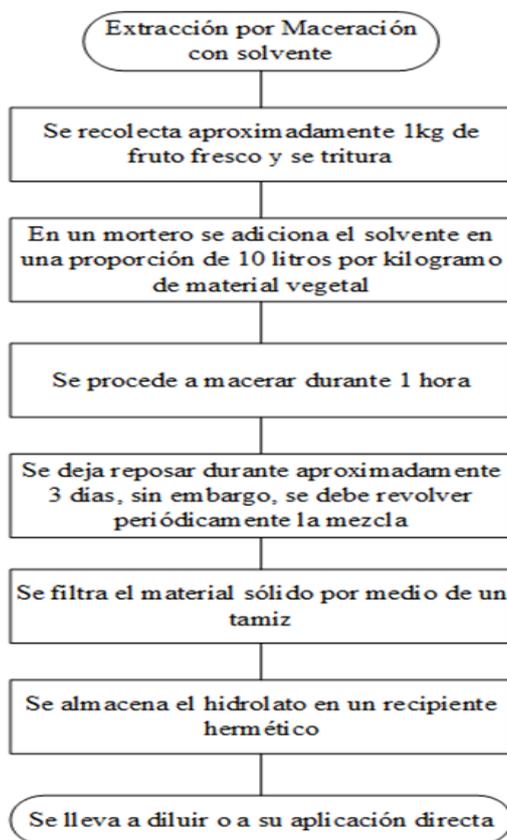
### **2.3.3. Maceración con solvente**

La maceración con solvente es un método de extracción sólido-líquido, en el cual se usa comúnmente agua, alcohol o aceites, con el fin de que ambas fases estén en contacto directo y los componentes del sólido afines al solvente quedan disueltos en éste, siendo en este caso los principios activos antifúngicos de fruto [51]; por lo que es necesario recuperar el líquido disuelto en los hidrolatos en un tiempo determinado pues este se puede extraer parcial o completamente en el tiempo empleado, sin embargo, es necesario aplicar calor constantemente para aumentar el área de contacto y así retirar el solvente tras realizar la separación de principios activos, el cual puede ser reutilizado para una segunda extracción.

[52] El procedimiento para realizar la extracción de hidrolatos por maceración se evidencia en la Figura 21.

**Figura 21.**

*Diagrama para la maceración.*



**Nota.** Diagrama de flujo para el proceso de maceración. Adaptado de: E. Salazar, *Efecto bacteriostático y bactericida de extractos de ají panca (Capsicum chinense) y pimiento (Capsicum annuum var. annuum) sobre cultivos de Escherichia coli ATCC 25922 y Staphylococcus aureus ATCC 25923*, Tesis pre., Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/5034>

Tras realizar la extracción por maceración con solvente se recomienda hacer uso de la cromatografía de gases en el equipo QP2010 PLUS, para determinar la concentración presente de principios activos antifúngicos en cada extracto, usando una energía de ionización de 70 eV, una temperatura para el inyector de 230°C, una temperatura para la línea de transferencia de 280°C y un tiempo de 60 minutos por cada extracto, donde al finalizar este procedimiento los resultados obtenidos se comparan y analizan teniendo en cuenta bases de datos como NIST y Willey. En la Figura 22 podemos evidenciar el equipo empleado en esta cromatografía. [53]

**Figura 22.**

*Equipo empleado para la cromatografía en gases.*



**Nota.** Equipo empleado para la cromatografía en gases después de realizar el proceso de extracción por maceración con solvente. Tomado de: Select Science, “GCMS-QP2010 Plus by Shimadzu Europa GmbH”, Cromatografía productos, (s.f.). [En línea]. Disponible en: <https://www.selectscience.net/products/gcms-qp2010-plus/?prodID=81106>

Para obtener una mayor cantidad de alicina y capsaicina en los hidrolatos de ajo y ají. es necesario tener en cuenta variables de extracción la cual aumentará su velocidad y eficiencia, estos factores son la temperatura, concentración y solubilidad del solvente, tamaño de partícula, porosidad y agitación. Es por esto que para obtener estos principios activos antifúngicos se recomienda trabajar a temperaturas por debajo del punto de ebullición del

solvente y de la degradación de ellos, es decir por debajo de 78°C, lo cual permite una mayor interacción entre las partículas solubles con el solvente. [55]

Los solventes más usados en este proceso es el agua, etanol y éter de petróleo, debido a que los principios antifúngicos tienen una gran afinidad con estos, sin embargo, a través de una prueba sobre la bacteria *Streptococcus Pyogenes* se puede evidenciar que al adicionar el extracto con etanol, permite una reducción significativa del patógeno, infiriendo que la concentración de alicina y capsaicina es mayor en este disolvente, con una concentración mínima de 20 mg/ml para la inhibición del crecimiento fúngico, como se observa en la Tabla 12. [56]

**Tabla 12.**

*Crecimiento microbiano empleando etanol.*

Concentración del solvente	Crecimiento bacteriano
20 mg/ml	No
10 mg/ml	Si
5 mg/ml	Si
2.5 mg/ml	Si
1.25 mg/m	Si

*Nota.* Crecimiento microbiano al variar las concentraciones del solvente. Tomado de: P. Rojas y R. Villca, “Determinación de la actividad antibacteriana in vitro del ajo (*allium sativum*) contra *streptococcus pyogenes* mediante el método por dilución”, Revista Universidad Ciencia y Sociedad, vol. 1, no. 4, sep, 2011. [En línea]. Disponible en: [http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S8888-88882011000200003&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S8888-88882011000200003&lng=en&nrm=iso&tlng=es)

Respecto al tamaño de partícula es necesario que estas tengan un tamaño reducido entre 0.8 cm a 2 cm, para que aumente el área de contacto y disminuya el tiempo de la extracción sobre todo para frutos de baja porosidad; por otro lado, la porosidad permite que el solvente penetre dentro del sólido aumentando el área activa de la extracción. Finalmente, en cuanto a

la agitación, esta permite una mayor eficiencia debido a que reduce la resistencia a la difusión y homogeniza la mezcla. [56]

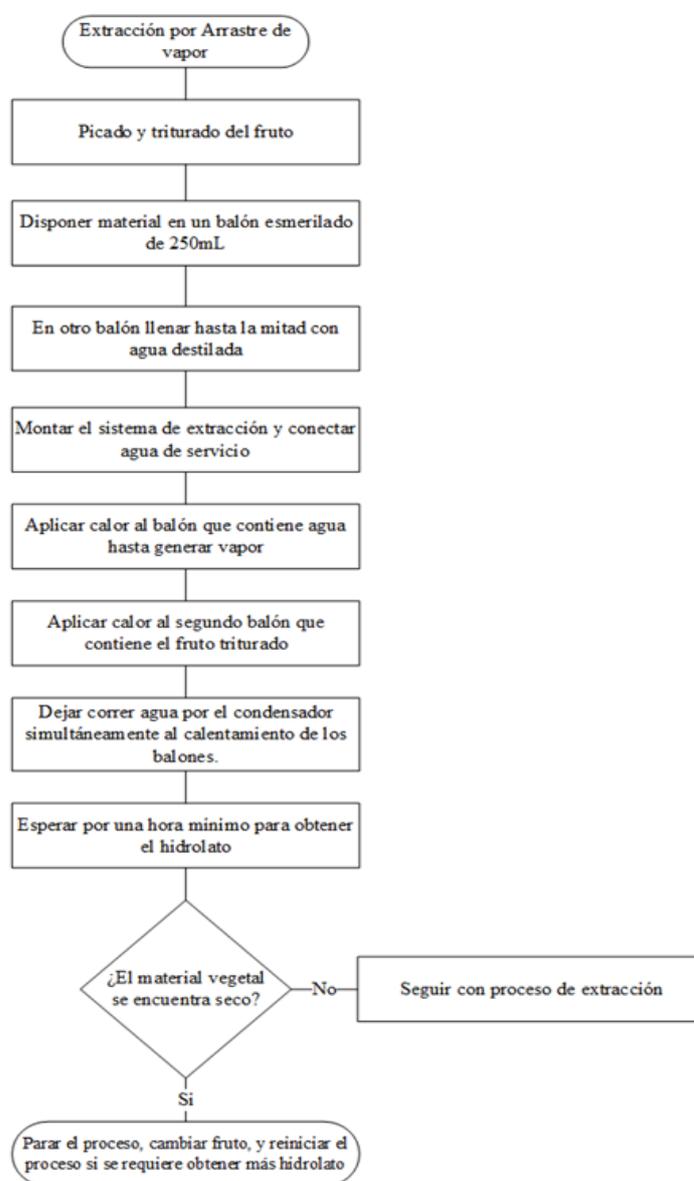
#### **2.3.4. Destilación por arrastre de vapor**

La destilación por arrastre de vapor consiste en la purificación de sustancias mediante la separación de compuestos orgánicos solubles en agua y ligeramente volátiles, de otras no volátiles que se encuentran en la mezcla, donde esta técnica es útil cuando la sustancia a extraer hierve por encima de su temperatura de ebullición correspondiente a la presión atmosférica. [57]

Este procedimiento se realiza por medio de la inyección de vapor de agua directamente en la mezcla, en el cual el vapor se condensa formando una fase inmiscible que cederá el calor latente, logrando la evaporación del componente volátil; es por ello que se trabaja a temperatura constante pues no existen cambios en la presión de vapor; sin embargo, si uno de los líquidos se elimina por la ebullición de la mezcla, la temperatura aumentará drásticamente. [57] Su procedimiento se puede evidenciar en la Figura 23.

**Figura 23.**

*Diagrama de destilación por arrastre de vapor.*



*Nota.* Diagrama de flujo para el proceso de destilación por arrastre de vapor. Adaptado de: A. Gonzales, *Obtención de aceites esenciales y extractos etanólicos de plantas del Amazonas*, Tesis pre., Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2004. [En línea]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1173/1/angelaandregonzalezvilla.2004.pdf>

Para llevar a cabo esta destilación se recomienda adicionar una proporción de 500 ml de agua por cada 100 g de fruto a utilizar si se trata de una práctica a nivel laboratorio con un tamaño de partícula entre 0.8 cm a 2 cm, de lo contrario a nivel industrial se utiliza aproximadamente 3 L de agua por 1 kg de fruto; por lo que este procedimiento llega a obtener extractos con composición elevada del principio activo, pero en bajas cantidades de volumen de extracto, y además utiliza tiempos de extracción largos, logrando alcanzar 5 horas para obtener tan solo 300 ml, haciendo que este proceso no sea rentable. [58]

Una modificación para este proceso de extracción es empleando como solvente el etanol, debido a que este presenta una influencia significativa sobre la eficiencia de arrastre de los principios activos, por lo que se demostró que el uso de los hidrolatos obtenidos con etanol tenían una mayor eficacia sobre los hongos patógenos que los obtenidos mediante el solvente de agua; es por este sentido que el proceso modificado mejora la calidad y concentración de la alicina o capsaicina aumentando su efecto antifúngico. [59]

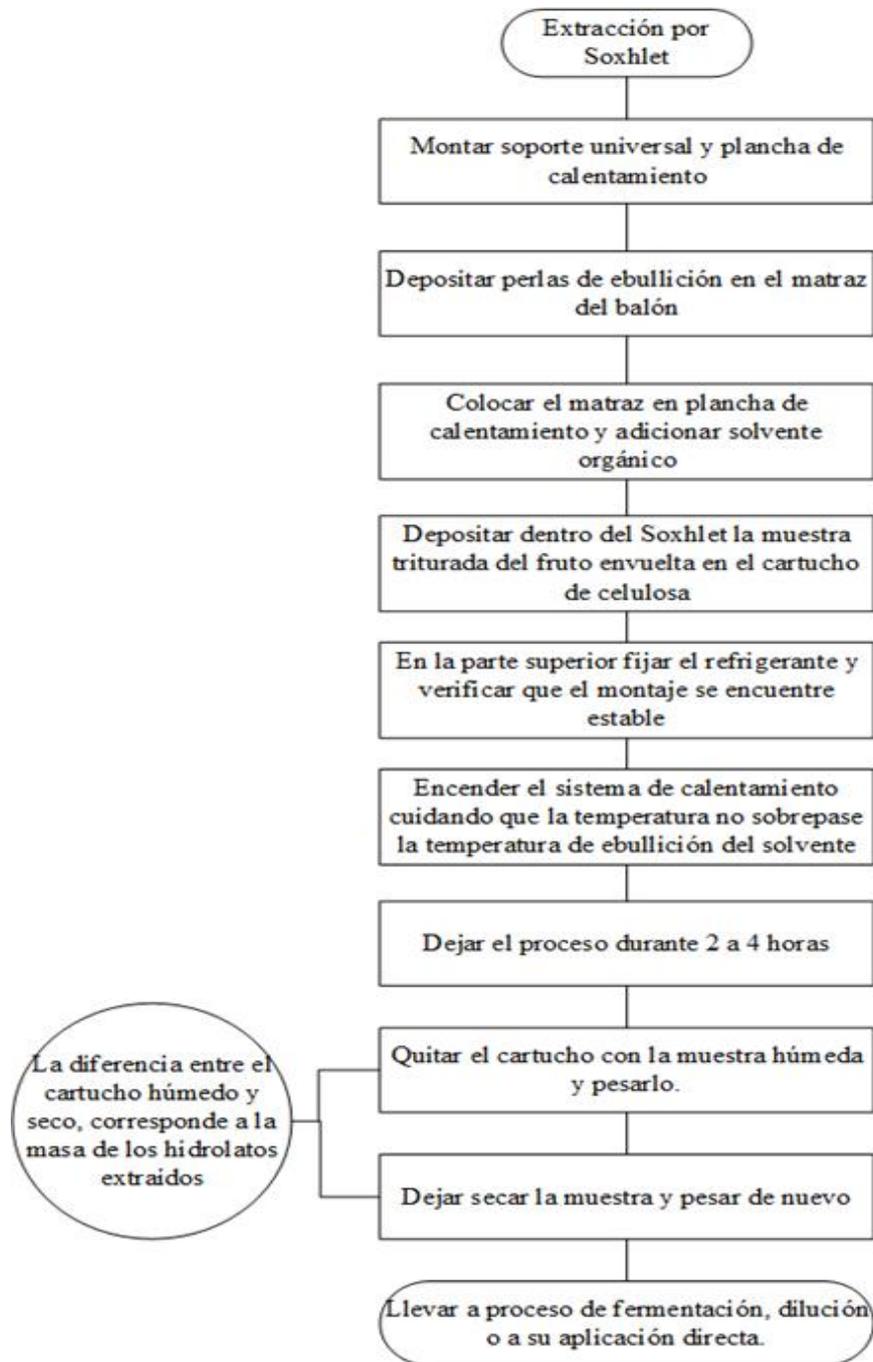
Tras realizar la destilación por arrastre de vapor se recomienda realizar una cromatografía de gases para determinar la concentración de principio activo en los hidrolatos utilizando un tubo capilar de 50 m de longitud, 0.32 mm de diámetro y espesor de 1.25  $\mu\text{m}$ , donde dicho tubo debe tener una temperatura máxima de 280°C, la temperatura del inyector debe estar a 250°C y uno de los deflectores a 260°C, analizando y comparando los resultados obtenidos con bases de datos como NIST. [60]

### **2.3.5. Extracción por solvente (Soxhlet)**

Esta extracción es una transferencia de masa, debido a que un disolvente orgánico extrae selectivamente principios activos de un material orgánico, la cual emplea calor sin sobrepasar el punto de ebullición del solvente que en fase gaseosa arrastra los metabolitos secundarios y por medio de una condensación de vapores se obtiene una separación de fases, obteniendo un líquido con propiedades antifúngicas. [61] El procedimiento a realizar en esta extracción se evidencia en la Figura 24.

**Figura 24.**

*Diagrama de extracción por solvente (Soxhlet).*



*Nota.* Diagrama de flujo para el proceso de extracción por solvente (Soxhlet). Adaptación de: M. Durán, P. Gonzalez y L. Cardona, “Obtención y caracterización de la oleoresina de ajo”, Ciencia y Tecnología, vol. 1, no. 37, pp. 551-555, diciembre, 2007. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4183>

Para determinar la concentración de principio activo de los hidrolatos tras realizar la extracción Soxhlet se debe analizar el extracto obtenido por medio de una cromatografía de gases en un cromatógrafo HP 6890 Plus, donde dicho equipo se observa en la Figura 25, compuesta por un tubo capilar de 30 m de largo, 0.25 mm de diámetro y 0.25 $\mu$ m de espesor, donde un inyector dividido se mantuvo a 250°C y el detector a 230°C, y el horno inicio a una temperatura de 80°C finalizando a los 250°C manteniéndose allí por 10 minutos; finalmente los resultados son analizados tras realizar una respectiva comparación de espectros de masas y bases de datos como NIST. [62]

**Figura 25.**

*Equipo para cromatografía de gas HP  
6890 Plus.*



*Nota.* Equipo para cromatografía de gas HP 6890 Plus tras realizar el método de extracción Soxhlet. Tomado de: LABX, “Agilent HP 6890”, Cromatografía en gas producto, (s.f.). [En línea]. Disponible en: <https://www.labx.com/product/hp-6890>

Con el fin de tener una mayor concentración de principio activo después de la extracción Soxhlet se sugiere pasar la mezcla por una destilación en la cual se emplea temperaturas bajas y presiones reducidas con un reflujo mínimo de 1.2 a 70°C, con el fin de eliminar de los hidrolatos cualquier exceso de disolvente; sin embargo, este proceso de purificación es

opcional, ya que se usa si la proporción de alicina o capsaicina fueron bajas tras ser determinadas con una cromatografía en gases. [64]

Para obtener una concentración elevada de alicina y capsaicina es necesario tener en cuenta factores como la selección del solvente, la matriz sólida y condiciones de operación; es por esto que para la selección de solvente se evalúa el rendimiento de tres tipos, los cuales son etanol al 75%, una dilución que tendrá una proporción 1:1 de etanol con hexano, y hexano, sobre ajo blanco y morado, obteniendo los resultados de sus rendimientos en la Tabla 13. [61]

**Tabla 13.**

*Rendimiento de solventes por extracción Soxhlet.*

<b>Solvente</b>	<b>Rendimiento en ajo blanco (%)</b>	<b>Rendimiento en ajo morado (%)</b>
Etanol 75%	13.6	14.4
Etanol: Hexano (1:1)	5.6	6.59
Hexano	2.88	2.86

*Nota.* Porcentajes de rendimiento en extractos obtenidos por extracción Soxhlet. Tomado de: M. Durán, P. Gonzalez y L. Cardona, “Obtención y caracterización de la oleoresina de ajo”, Ciencia y Tecnología, vol. 1, no. 37, pp. 551-555, diciembre, 2007. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4183>

Teniendo en cuenta la tabla anterior se puede inferir que el mejor solvente en este proceso es el etanol al 75%, ya que fue el compuesto que mayor rendimiento presentó respecto a los otros dos, debido a este tiene la capacidad de retener compuesto organosulfurados como la alicina; por ende, para la extracción de capsaicina por método Soxhlet, dicho solvente también tendrá altos rendimientos.

Respecto a la matriz sólida esta debe presentar un tamaño de partícula pequeño entre 0.8 y 2 cm debido a que facilita el contacto con el solvente y arrastrar consigo el principio activo antifúngico en un menor tiempo de operación con rendimientos altos. En cuanto a las condiciones de operación, este proceso debe trabajar a una temperatura aproximada a los

78°C, una proporción entre etanol y materia orgánica de 1100 mL/200 g y trabajar por un tiempo máximo de 10 horas, por lo que el solvente se debe estar regenerando constantemente. [65]

#### 2.4. Ventajas y desventajas de los métodos de extracción

De acuerdo a los métodos mencionados, se establece una comparación con el fin de determinar cuál método es más rentable en cuanto a eficiencia, condiciones de operación y costos, para la obtención de los hidrolatos ajo-ají, comparación que se evidencia en la Tabla 14.

**Tabla 14.**

Ventajas y desventajas para los métodos de extracción.

Método de extracción	Ventajas	Desventajas
Infusión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo de operación bajo, debido a que el equipo utilizado no es especializado.</li> <li>• Tiempo corto de obtención de los hidrolatos, debido a que todo su proceso dura aproximadamente 24h.</li> <li>• Condiciones de operación accesibles.</li> <li>• Se obtiene un volumen alto de hidrolatos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se obtiene una mezcla pura en los principios activos antifúngicos.</li> <li>• Es necesario realizar una sedimentación y filtración para retirar material vegetal que haya quedado en el proceso de extracción. [42]</li> <li>• Extracción ultrasónica para aumentar la concentración de los principios activos. [44]</li> </ul>

**Tabla 14. Continuación.**

<b>Método de extracción</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Purín	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se obtiene un volumen alto de hidrolatos.</li> <li>• No requiere de adición de calor, pues se trabaja a temperatura ambiente.</li> <li>• Su proceso consta principalmente de una fermentación aeróbica ya que no requiere de condiciones especiales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se tiene suficiente información sobre su uso y condiciones de operación.</li> <li>• Tiene una acción más de fertilizante que de repelente contra plagas.</li> <li>• Hacer uso de un homogeneizador y un biodigestor anaerobio para aumentar la concentración de los principios activos. [48]</li> </ul>
Maceración con solvente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La maceración se lleva a cabo aproximadamente en 1 hora, lo cual lo hace un proceso sencillo, además de no requerir equipos especializados.</li> <li>• Se obtiene una buena cantidad de principios activos antifúngicos por la afinidad que tienen con el solvente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se utiliza una cantidad elevada de solvente por 1 kg de material vegetal.</li> <li>• Al implementar temperaturas elevadas, algunos compuestos se descomponen</li> <li>• Necesita una fermentación durante 3 días como mínimo.</li> <li>• Usar cromatografía de gases para determinar la concentración de los principios activos. [53]</li> </ul>

**Tabla 14. Continuación.**

<p>Destilación por arrastre de vapor</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los hidrolatos tienen una composición alta de principios activos.</li> <li>• Las condiciones de operación se pueden controlar con facilidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se obtiene poco volumen de hidrolatos.</li> <li>• Requiere bastante tiempo de operación, debido que para obtener tan solo 300 mL se debe disponer de 5 horas.</li> <li>• Se necesita mucho material vegetal.</li> <li>• Usar cromatografía de gases para determinar la concentración de los principios activos. [59]</li> </ul>
<p>Extracción por solvente (Soxhlet)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se obtiene una concentración alta de principio activo.</li> <li>• No se requiere procesos de purificación posterior.</li> <li>• El solvente siempre está en contacto directo con el material vegetal, empleando mejor la extracción.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un proceso lento e imposible de acelerar, pues es necesario disponer de 3 a 4 horas para obtener un volumen cercano de 250 mL</li> <li>• Se requiere gran cantidad de disolvente</li> <li>• Usar cromatografía de gases para determinar la concentración de los principios activos. [62]</li> </ul>

*Nota.* Ventajas y desventajas que presentan los diferentes métodos de extracción de los hidrolatos ajo-ají.

Así mismo, se procede a realizar una comparación cuantitativa teniendo en cuenta la Tabla 14, donde se ponderan los parámetros evidenciados en la Tabla 15, con el fin de determinar cuáles son los mejores métodos de extracción para los principios activos del ajo y ají, siendo estos la alicina y la capsaicina respectivamente.

**Tabla 15.***Comparación cuantitativa de los métodos de extracción.*

<b>Parámetro</b>	<b>Infusión</b>	<b>Purín</b>	<b>Maceración con solvente</b>	<b>Destilación por arrastre de vapor</b>	<b>Extracción por Soxhlet</b>
Cantidad de solvente	3	1	1	3	3
Condiciones de operación controlables	3	3	3	2	3
Duración de extracción	2	1	3	2	2
Concentración de principios activos	1	1	3	2	3
Total	9	6	10	9	11

*Nota.* Comparación cuantitativa entre los 5 métodos de extracción de los principios activos del ajo y el ají, donde 1 es una calificación baja, 2 regular y 3 buena.

De acuerdo a las ventajas y desventajas mencionadas en la Tabla 14 y las ponderaciones más altas obtenidas en la Tabla 15, los métodos más eficientes y que contrarrestan sus inconvenientes con su alta productividad son la maceración con solvente y la extracción por Soxhlet, debido a que tienen un alto contacto con el solvente extrayendo tanto la alicina como la capsaicina del ajo y el ají respectivamente, en altas proporciones; por otro lado, sus condiciones de operación son controlables y los equipos que se requieren no necesitan de tecnología avanzada por lo que esos factores no generarán un mayor costo de operación o dificultad en la adquisición de maquinaria.

### 3. IDENTIFICAR EL EFECTO DE LOS HIDROLATOS AJO-AJÍ SOBRE ORGANISMOS PRESENTES EN FRUTO

Se han estudiado diferentes opciones para el control de microorganismos patógenos que afectan los diferentes cultivos, donde el uso de materia orgánica se presenta como alternativa principal para la elaboración de pesticidas a partir de sus principios activos antifúngicos, ya que estos productos son económicos, prácticos y amigables con el medio ambiente. Teniendo en cuenta lo anterior, se estudia el efecto de los hidrolatos ajo y ají obtenidos por maceración con solvente o por extracción de Soxhlet sobre algunos hongos, bacterias y/o insectos.

#### 3.1. Efectos de los hidrolatos del ajo

Para evaluar el efecto antimicrobiano de la alicina extraída del ajo, se analizaron estudios [66] [67] [68] [69], en los que realizaron pruebas contra *Aspergillus Parasiticus*, *Aspergillus Niger*, *Mycosphaerella Fijiensis*, *Clostridium Perfringens* y *Penicillium Digitatum*, en el que se estimó la concentración mínima de inhibición de su crecimiento in vitro en diferentes concentraciones del hidrolato.

El estudio realizado contra la bacteria gram-positiva *Clostridium Perfringens* la cual ataca generalmente a vegetales crudos o especias como la soja, se llevó a cabo con extractos de *Allium sativum* obtenidos a partir de una extracción Soxhlet usando como solvente el hexano- diclorometano y hexano-cloroformo, el cual se agregó a un medio con Sulfito Polimixina Sulfadiazina (SPS) y cepas de la bacteria para incubar a 37°C, donde al pasar aproximadamente 24 horas se logra determinar el porcentaje mínimo de inhibición respecto al crecimiento del microorganismo. [66] Estos resultados se pueden evidenciar en la Tabla 16.

**Tabla 16.**

*Inhibición de Clostridium Perfringens con hidrolatos de ajo.*

Solvente	Diámetro de inhibición (mm)	MIC (µL/mL)	% de inhibición
Hexano diclorometano	10.4	500	100

**Tabla 16. Continuación.**

<b>Solvente</b>	<b>Diámetro de inhibición (mm)</b>	<b>MIC (<math>\mu\text{L}/\text{mL}</math>)</b>	<b>% de inhibición</b>
Hexano cloroformo	14.5	500	92

*Nota.* Datos obtenidos en las pruebas in vitro con los hidrolatos del ajo sobre la bacteria *Clostridium Perfringens*. Tomado de: M. Ardila et al., “Ensayo preliminar de la actividad antibacteriana de extractos de *Allium Sativum*, *Coriandrum Sativum*, *Eugenia Caryophyllata*, *Origanum Vulgare*, *Rosmarinus Officinalis* y *Thymus Vulgaris* frente a *Clostridium Perfringens*”, *Biosalud*, vol 8, no. 1, pp. 47-57, diciembre, 2009. [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/biosa/v8n1/v8n1a07.pdf>

Los investigadores pudieron observar la inhibición del microorganismo patógeno por la ausencia de turbidez, gas y aparición de un color oscuro en las cajas de Petri, por lo que tras realizar la prueba de MIC, se logra obtener un dato de concentración mínima de principio activo para lograr dicha inhibición siendo este de 500  $\mu\text{L}/\text{mL}$ , ya que por debajo de este aún se presenta crecimiento bacteriano; por otro lado, el efecto dependerá del solvente a utilizar, por lo que teniendo en cuenta la tabla anterior se puede deducir que el hexano diclorometano alcanza inhibiciones cercanas al 100%, mientras que el hexano cloroformo solo alcanza el 92%; en comparación con el tratamiento común en el que se emplea el bactericida vancomicina, el cual es capaz de inhibir aproximadamente el 71% a 84% del crecimiento bacteriano [66], por lo que se puede inferir que el tratamiento con alicina tiene mayor poder inhibitorio.

Para el estudio realizado sobre el hongo *Penicillium Digitatum* el cual ataca a frutos cítricos, se llevó a cabo en caja de Petri con el cultivo ya inoculado a partir de hidrolatos de ajo obtenidos por maceración usando como solvente agua destilada, por medio de tres pruebas con distintas concentraciones del extracto, siendo estos 10%, 30% y 50% respectivamente, dejando actuar el principio activo por 3 días a una temperatura de 34°C, revisando cada 24 horas su crecimiento microbiano, donde el crecimiento microbiano se puede evidenciar en la Tabla 17. [67]

**Tabla 17.**

*Inhibición de Penicillium Digitatum con hidrolatos de ajo.*

Concentración de extracto de ajo	Día 1	Día 2	Día 3
0%			
10%			
30%			
50%			

**Nota.** Datos obtenidos en las pruebas in vitro con los hidrolatos del ajo sobre el hongo *Penicillium Digitatum*. Tomado de: E. López, M. Vázquez y R. Olayo, “Propiedades antimicóticas del ajo”, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2016. [En línea]. Disponible en: [https://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria24/feria295\\_01\\_propiedades\\_antimicoticas\\_d\\_el\\_ajo.pdf](https://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria24/feria295_01_propiedades_antimicoticas_d_el_ajo.pdf)

En la tabla anterior se puede evidenciar el crecimiento del hongo en los días que se realizó la prueba con las diferentes concentraciones de los hidrolatos de ajo, donde en el primer día se observó que la muestra con una concentración del 0% el crecimiento del hongo fue significativo, y al 10% se evidencia una menor aparición del microorganismo, mientras que para las concentraciones del 30 y 50% no se encontró alguna evidencia de su crecimiento. Para el segundo día el crecimiento aumentó para las pruebas con hidrolato a concentraciones del 0 y 10%, además se observaron las primeras apariciones del hongo en la caja de Petri que presenta una concentración del 30%.

Al tercer día la caja de Petri con el 50% de extracto presentó la primera formación de colonia, indicando que la concentración del ajo atrasa el crecimiento del hongo, sin su erradicación completa, logrando inferir que a mayores concentraciones el efecto del principio activo será más eficiente logrando actuar por un tiempo mayor. Por otro lado, al comparar el efecto del ajo con los fungicidas más usados como el Mertect, siendo su principio activo el tiabendazol, se puede inferir que su actividad antifúngica puede llegar a ser similar, debido a que este inhibe cerca del 99% del crecimiento microbiano con concentraciones mayores al 50% en los primeros días de inoculación. [67]

El hongo *Mycosphaerella Fijiensis* ataca comúnmente al cultivo del plátano y del banano, donde para su control se realizan pruebas con extracto de ajo obtenidos a partir de la extracción por Soxhlet usando como solvente etanol al 60%, los cuales fueron agregados al medio con el microorganismo en cuatro diferentes concentraciones, siendo estas 0 µg/mL, 150 µg/mL, 300 µg/mL y 450 µg/mL, evaluando su efecto durante tres semanas a 30°C. [68] Sus resultados se pueden observar en la Tabla 18.

**Tabla 18.**

*Inhibición de *Mycosphaerella Fijiensis* con hidrolatos de ajo.*

Concentración del extracto (µg/mL)	Área promedio de crecimiento del hongo (mm <sup>2</sup> )
0	101.90
150	87.06

**Tabla 18. Continuación.**

Concentración del extracto ( $\mu\text{g/mL}$ )	Área promedio de crecimiento del hongo ( $\text{mm}^2$ )
300	95.38
450	96.87

*Nota.* Datos del área de crecimientos del hongo *Mycosphaerella Fijiensis* a las cuatro semanas de incubación con hidrolatos de ajo. Tomado de: M. Adirano et al., “Efecto de extractos alcohólicos de ajo (*Allium sativum*) y clavo (*Syzygium aromaticum*) en el desarrollo de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet”, *Rev. Mexicana de Fitopatología*, vol. 36, no. 3, pp. 379-393, agosto, 2018. doi: <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1805-2>

De acuerdo a la tabla se puede observar que durante cuatro semanas el crecimiento microbiano es persistente, sin embargo, a concentraciones de  $150 \mu\text{g/mL}$  su capacidad inhibitoria es mayor respecto a las otras concentraciones, determinando así un MIC entre 150 y 300. Además, es necesario tener en cuenta que debido al largo periodo de incubación los extractos pierden su capacidad antifúngica debido a que no hay una constante aplicación del producto por lo que es necesario un constante uso sobre el hongo para tener una mayor eficiencia de inhibición.

Al realizar la respectiva comparación del hidrolato de ajo frente a los tratamientos químicos, usando como fungicida el Vondozeb caracterizado por generar un control agresivo sobre los microorganismos debido a que desde su primera aplicación tiene porcentajes de inhibición mayores de 50%, en donde podemos evidenciar que el efecto del ajo es inferior a dicho tratamiento, sin embargo, se conoce que después de cierto tiempo el fungicida crea una resistencia contra el fungicida disminuyendo su rendimiento. [69]

Adicionalmente se evaluó el crecimiento de los hongos *Aspergillus Parasiticus* y *Aspergillus Niger* los cuales atacan a los cultivos del maíz, arroz, tomate y lechuga, a partir de la alicina obtenida por un proceso de maceración con solvente siendo este una solución amortiguadora por fosfatos, en un medio con agar utilizando diferentes diluciones del extracto, midiendo el halo de inhibición y el crecimiento radial del microorganismo por 72 horas a  $28^\circ\text{C}$  aproximadamente. [69] Dichos resultados se evidencian en la Tabla 19.

**Tabla 19.**

*Inhibición de Aspergillus Parasiticus y Aspergillus Niger con hidrolatos de ajo.*

Concentración del extracto (%)	Crecimiento radial del hongo (mm)		
	24 h	48 h	72h
0,25	4	16.8	30
0.35	3	15.8	29.6
0.38	1.5	13	26.6
0.4	1.1	12	26.1
Halo de inhibición (mm)			
50	14.3	9.5	5.3
66	17.5	14.2	6
75	20	17.7	8.6
80	20.5	17.9	9.8
100	22.4	19.5	12

**Nota.** Datos del halo de inhibición y el crecimiento radial de los hongos *Aspergillus Parasiticus* y *Aspergillus Niger* mediante los hidrolatos de ajo. Tomado de: K. Juárez et al., “Efecto de extractos crudos de ajo (*Allium Sativum*) sobre el desarrollo in vitro de *Aspergillus Parasiticus* y *Aspergillus Niger*”, Polibotánica, no. 47, pp. 99-111, enero, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.18387/polibotanica.47.8>

Para las concentraciones entre 0.25 y 0.4% de extracto no se logra medir el halo de inhibición por lo que se mide el crecimiento radial del hongo hasta alcanzar 72 horas, observando que este crece considerablemente en todas las muestras, sin embargo, a la concentración de 0.4% su aparición es más lenta debido a que se inhibió en mayor porcentaje el crecimiento del hongo, lo que confirma que a mayor concentración mayor poder antifúngico. A las concentraciones entre 50 a 100% es posible medir dicho halo de inhibición

logrando observar que la menor disminución del extracto es a la concentración de 100% a las 72 horas infiriendo que a dicha proporción el crecimiento microbiano es leve.

El control químico para el género *Aspergillus* se lleva a cabo mediante fungicidas como el Mancozeb y el Benomilo, los cuales disminuyen significativamente la aparición de microorganismos en los frutos, sin embargo, debido a su alta toxicidad y mutagenicidad en el mercado estos productos se han descontinuado [69], por lo que los hidrolatos de ajo se presentan como una alternativa eficaz capaz de obtener resultados similares respecto a los tratamientos químicos.

Al comparar el efecto de la alicina presente en los hidrolatos del ajo sobre cada uno de los microorganismos que se estudiaron, se espera un comportamiento antifúngico similar sobre el hongo de la *Monilia* idealmente trabajando a concentraciones altas con una aplicación constante por semana, esperando una eficiencia de inhibición del crecimiento del microorganismo cercano al 100%.

### **3.2. Efectos de los hidrolatos del ají**

El análisis del efecto antifúngico de la Capsaicina presente en los hidrolatos de ají, se realizó por medio de estudios [70] [71] sobre diferentes hongos los cuales son la *Alternaria Solani*, *Fusarium Oxysporum*, *Aspergillus Niger* y *Aspergillus Flavus*, quienes atacan a diferentes cultivos; con el fin de determinar la concentración mínima que permite la inhibición de su crecimiento sobre muestras *in vitro*.

El estudio sobre el hongo *Aspergillus Flavus* que ataca generalmente al maíz, cereales, legumbres y fruto secos, se realizó por medio de la obtención de los extractos de ají mediante una maceración usando como solvente alcohol etílico, al cual se le realizaron distintas diluciones para ser evaluados en un medio de agar con el microorganismos, siendo estas 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 y 2 mg/mL, dejando actuar los hidrolatos por aproximadamente 7 días a temperaturas cercanas de los 25°C. [70] Los resultados obtenidos en este estudio se evidencian en la Tabla 20.

**Tabla 20.**

*Inhibición de Aspergillus Flavus con hidrolatos de ají.*

<b>Concentración del extracto de ajo (mg/mL)</b>	<b>Diámetro del halo de inhibición (mm)</b>
0.4	12.33
0.8	12.33
1.2	6
1.6	11.33
2	10.77

*Nota.* Datos del halo de inhibición en el hongo *Aspergillus Flavus* mediante los hidrolatos de ají. Tomado de: S. Moreno et al., “Efecto antifúngico de capsaicina y extractos de chile piquín (*Capsicum Annum* L. Var. *Aviculare*) sobre el crecimiento in vitro de *Aspergillus Flavus*”, Revista Polibotánica, no. 34, pp. 171-184, agosto, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/621/62123051008.pdf>

Según la tabla anterior se puede analizar que para lograr mayores inhibiciones del microorganismo, la concentración mínima debe estar entre los 0.6 y 0.8 mg/mL con el fin de obtener un halo de inhibición con un diámetro aproximado de 12.33 mm en la caja de Petri; además se puede inferir que si se obtienen mayores diámetros del halo, la inhibición del hongo será mayor, mientras que si se evalúa respecto al diámetro de crecimiento del microorganismo, para obtener una eficiencia alta de inhibición este debe tener valores mínimos. Al comparar dicho efecto con los fungicidas químicos utilizados para este género, los hidrolatos de ají logran inhibir el mismo porcentaje convirtiéndose así en una alternativa de control sobre dicho microorganismo.

Respecto a los hongos *Alternaria Solani*, *Fusarium Oxysporum* y *Aspergillus Niger* los cuales atacan generalmente a cultivos del tomate y papa, banano y plátano, lechugas y acelgas, respectivamente, se realizaron pruebas mediante los hidrolatos de ají obtenidos por maceración con etanol al 96%, trabajando a concentraciones de 1 y 5% de capsaicina, y dejándolos actuar sobre un medio de agar durante 12 días a 25°C; sin embargo, los resultados

se tomaron cada tres días. [71] Los datos del crecimiento de estos hongos se evidencian en las Tablas 21, 22 y 23.

**Tabla 21.**

*Inhibición de Alternaria Solani con hidrolatos de ají.*

Concentración del extracto (%)	Diámetro promedio de crecimiento micelial (cm)			
	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12
0	1.6	4.6	7.5	8.2
1	0	0	0	0
5	0	0	0	0

*Nota.* Datos del diámetro promedio de crecimiento micelial en el hongo *Alternaria Solani* por medio de los hidrolatos de ají. Tomado de: G. Terrones, “Efecto antifúngico del extracto etanólico de frutos secos de *Capsicum Annuum* Var. *Annuum* “pimentón” sobre el crecimiento de *Alternaria Solani*, *Fusarium Oxysporum* y *Aspergillus Niger*”, *Sagasteguiana*, vol. 1, no. 2, pp. 31-40, diciembre, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/REVSAGAS/article/view/1794/1749>

**Tabla 22.***Inhibición de Fusarium Oxysporum con hidrolatos de ají.*

Concentración del extracto (%)	Diámetro promedio de crecimiento micelial (cm)			
	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12
0	2	5.8	8.3	8.6
1	1	3.5	6	8.7
5	0	0	0	0

*Nota.* Datos del diámetro promedio de crecimiento micelial en el hongo *Fusarium Oxysporum* por medio de los hidrolatos de ají. Tomado de: G. Terrones, “Efecto antifúngico del extracto etanólico de frutos secos de *Capsicum Annuum* Var. *Annuum* “pimentón” sobre el crecimiento de *Alternaria Solani*, *Fusarium Oxysporum* y *Aspergillus Niger*”, *Sagasteguiana*, vol. 1, no. 2, pp. 31-40, diciembre, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/REVSAGAS/article/view/1794/1749>

**Tabla 23.***Inhibición de Aspergillus Niger con hidrolatos de ají.*

Concentración del extracto (%)	Diámetro promedio de crecimiento micelial (cm)			
	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12
0	1.7	2.6	3.3	4
1	1.81	2.9	3.1	3.8
5	2.3	4.6	5.4	7.5

*Nota.* Datos del diámetro promedio de crecimiento micelial en el hongo *Aspergillus Niger* por medio de los hidrolatos de ají. Tomado de: G. Terrones, “Efecto antifúngico del extracto etanólico de frutos secos de *Capsicum Annuum* Var. *Annuum* “pimentón” sobre el crecimiento de *Alternaria Solani*, *Fusarium Oxysporum* y *Aspergillus Niger*”, *Sagasteguiana*, vol. 1, no. 2, pp. 31-40, diciembre, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/REVSAGAS/article/view/1794/1749>

Para el hongo *Alternaria Solani* se observa que su crecimiento cuando se agrega una concentración mínima de 1% de hidrolato de ají, es nulo, confirmando una inhibición del 100%, sin embargo, no se tiene certeza si al pasar los 12 días el microorganismo pueda hacer presencia en el medio lo cual provocaría que se requiera una concentración más alta o el extracto se aplique constantemente.

En la Tabla 22 se pueden observar los datos obtenidos del crecimiento micelial para el hongo *Fusarium Oxysporum*, donde se evidencia que la concentración mínima de inhibición es del 5% con una duración mínima de 12 días cuando tan solo el hidrolato de ají se ha aplicado una sola vez sobre el microorganismo, así mismo se puede evidenciar que a una concentración del 1% la aparición del hongo es lenta, por lo que se tiene un porcentaje de inhibición del 23%.

Para el estudio realizado en el último hongo, siendo este *Aspergillus Niger*, las concentraciones empleadas del extracto de ají no inhibieron el crecimiento micelial, sino por el contrario favorecieron su crecimiento, debido a que el hidrolato obtenido tenía una baja concentración de principio activo antifúngico y una alta proporción de vitaminas y nutrientes [71]; sin embargo, en una comparación con otro artículo se evidencia una inhibición de este hongo a partir de una concentración mínima de 0.0125 mg/mL para el principio activo, concluyendo que el efecto dependerá de la cantidad de capsaicina preferiblemente superiores al 5%. [72]

Uno de los fungicidas más usado sobre estos tres hongos es el Captan, siendo este muy versátil y eficaz contra distintos microorganismos capaz de inhibir cerca del 95% su crecimiento en las primeras semanas después de su aplicación [71], asemejando dicho comportamiento con el de los hidrolatos de ají sobre *Alternaria Solani* y *Fusarium Oxysporum*, por lo que es un tratamiento que puede reemplazar los químicos altamente tóxicos.

Teniendo en cuenta los resultados de inhibición obtenidos para los diferentes microorganismos por medio del efecto de la capsaicina presente en los hidrolatos de ají, se puede deducir que la concentración de principio activo variará según el método de extracción afectando la inhibición del microorganismo a tratar; sin embargo, se puede evidenciar que este componente principal presenta un poder inhibitorio significativo, debido a que a concentraciones bajas, no menores al 5%, se pueden obtener eficiencias hasta del 100% en un

periodo de prueba aproximadamente de 12 días, esperando un comportamiento similar cuando este tenga contacto con el hongo *Moniliophthora Roreri*.

### 3.3. Efectos de los hidrolatos ajo-ají

El análisis del efecto de los dos principios activos que se establecieron anteriormente siendo estos Capsaicina y Alicina estando en una mezcla homogénea, se estudiaron mediante investigaciones [73] [74] [75], sobre insectos como *Thysanoptera*, *Heliothis Armigera* y *Spodoptera Frugiperda* determinando el porcentaje de mortalidad en un determinado tiempo.

El insecto *Thysanoptera* más conocido como trips ataca a diversos cultivos como pepino, sandía, tomate, cebolla y frutos cítricos como el maracuyá, se le realizaron pruebas in vitro en el cual se le agregó una mezcla de hidrolatos ajo-ají obtenida por maceración usando como solvente agua en una proporción 2:1, evaluando la mortalidad en tres concentraciones las cuales son 10%, 20% y 30% para cada hidrolato, dejándolo actuar por 24 horas a una temperatura promedio de 23°C. [73] Los resultados obtenidos para esta investigación se pueden evidenciar en la Tabla 24.

**Tabla 24.**

*Inhibición de Thysanoptera con hidrolatos de ajo-ají*

<b>% Concentración de Ají</b>	<b>% Concentración de Ajo</b>	<b>% de mortalidad de trips</b>
0	0	30
10	10	60
20	20	47
30	30	43

**Nota.** Datos del porcentaje de mortalidad del insecto *Thysanoptera* por medio de los hidrolatos de ajo-ají. Tomado de: É. Varón et al., Manual técnico del manejo de trips en maracuyá, 1a. ed., Bogotá, Colombia, 2018. [En línea]. Disponible en: [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13502/44908\\_60247.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13502/44908_60247.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

En la tabla anterior se puede observar que el mayor porcentaje de mortalidad se dio en la mezcla con 10% de ajo y 10% de ají, y a mayores concentraciones la variable evaluada no alcanza el 50%, por lo que se puede inferir que la mezcla tiene un efecto contrario al aumentar la concentración provocando que las muertes de los insectos disminuyan. Así mismo, al comparar estos hidrolatos con el control químico, donde se emplean insecticidas como el Malation, Metiocarb, Spinetoram o Spinosad se observa que tienen un porcentaje de mortalidad cercano al 95%, cuando se aplica a las condiciones comunes del cultivo del cacao siendo estos a entre 20 a 30°C, una altitud entre los 300 a 1200 msnm y precipitaciones entre los 1500 y 2000 mm/año [73]; por lo que se observa que el tratamiento biológico con ajo-ají tiene menor porcentaje de inhibición, sin embargo, es menos tóxico y tiene la posibilidad de ser usado en diferentes cultivos y microorganismos, como los hongos.

El estudio realizado contra el insecto *Heliothis Armiger* que ataca cultivos como el tomate, col, maíz, soya y algodón; se llevó a cabo mediante la aplicación de los hidrolatos ajo-ají obtenidos a partir de infusión y maceración empleando como solvente el etanol sobre un medio in vitro, dejando actuar el producto durante 72 horas a temperaturas cercanas a los 25°C con el fin de establecer el tiempo en que se pierde el efecto insecticida, evaluando el porcentaje de mortalidad en una sola concentración de la mezcla. [74] Los resultados de este estudio se evidencian en la Tabla 25.

**Tabla 25.**

*Inhibición de Heliothis Armiger con hidrolatos de ajo-ají.*

<b>% Concentración de Ajo</b>	<b>% Concentración de Ají</b>	<b>% de mortalidad</b>
0	0	0
2	2	71

**Nota.** Datos del porcentaje de mortalidad del insecto *Heliothis Armiger* por medio de los hidrolatos de ajo-ají. Tomado de: H. Vera, “Bioensayos para potenciar extractos vegetales y controlar insectos-plagas del tomate (*Lycopersicon Esculentum* Mill)”, Investigación y Difusión Científica Agropecuaria, vol. 20, no. 3, pp. 17-32, diciembre, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://ww.ucol.mx/revaia/portal/pdf/2016/sept/2.pdf>

Teniendo en cuenta lo anterior es posible inferir que los hidrolatos ajo-ají a concentraciones bajas tienen un efecto insecticida significativo sobre dicho insecto, logrando

rendimientos altos similares a los obtenidos por los tratamientos químicos convencionales como el Azadiractin pues este logra inhibir hasta un 95% solo si este se aplica cada 15 días [74].

Respecto al insecto *Spodoptera Frugiperda* más conocido como gusano cogollero, el cual ataca especialmente a cultivos de maíz, algodón, arroz y caña de azúcar, se le realizaron pruebas por medio de la aplicación de hidrolatos ajo-ají obtenidos por un proceso de maceración usando alcohol como solvente, empleando volúmenes de 100cm<sup>3</sup> y 200cm<sup>3</sup> de cada uno de los extractos, evaluando el porcentaje de mortalidad desde su aplicación hasta 18 días después con una toma de datos cada 6 días [75] Los resultados se muestran en la Tabla 26.

**Tabla 26.**

*Inhibición de Spodoptera Frugiperda con hidrolatos de ajo-ají.*

<b>Tiempo de evaluación (Días)</b>	<b>% de Mortalidad con 100cc de ají y 100 cc de ajo</b>	<b>% de Mortalidad con 200cc de ají y 200 cc de ajo</b>
0	14	74
6	11	57
12	9	54
18	35	81
Promedio	17.25	66.5

*Nota.* Datos del porcentaje de mortalidad del insecto *Spodoptera Frugiperda* por medio de los hidrolatos de ajo-ají. Tomado de: C. Velásquez, *Efectos de dos insecticidas orgánicos en el control del gusano cogollero (Spodoptera Rugiperda), en la etapa de crecimiento del cultivo de maíz (Zea Mays L) variedad trueno 74 nb 7443, en la comunidad moran valverde 1, parroquia san carlos, cantón la joya de los sachas, provincia de orellana*, Tesis pre., Facultad de Ingeniería, Universidad de Loja, Loja, Ecuador, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/15655/1/TESIS%20%20FINAL...pdf>

De acuerdo a los resultados de la Tabla 26 se observa que a mayor volumen de extractos se obtiene un porcentaje mayor de mortalidad del insecto, siendo esta de 200cc para cada

hidrolato ya que puede controlar la plaga en un 66.5% en los primeros 18 días con una sola aplicación, por lo que se demuestra el efecto antimicrobiano que presentan los principios activos de la mezcla entre los hidrolatos ajo-ají, siendo éste efectivo debido a su alto rendimiento; donde al ser comparado con los tratamientos químicos como el Fastac y el Spinosad, los cuales tienen un porcentaje de mortalidad entre 88% y 90% en los primeros 15 días [75], se puede esperar que estos hidrolatos alcancen este porcentaje de mortalidad si se utilizan mayores volúmenes de aplicación.

Al analizar las investigaciones anteriores se puede afirmar que los hidrolatos ajo-ají presentan propiedades insecticidas, cuando se encuentran en mezcla debido a los principios activos presentes en cada fruto, siendo estos la Alicina y la Capsaicina, comportándose como repelente e insecticida respectivamente, al aplicarse a concentraciones bajas; sin embargo, no existen investigaciones concretas donde se haga uso de dichos hidrolatos sobre hongos presentes en los frutos, aunque al estudiarlo individualmente esta propiedad es muy notoria y utilizada actualmente como una alternativa natural entre los agricultores.

Así mismo, existe en el mercado un producto a base de hidrolatos ajo-ají conocido como Alisin®, que debido a su composición siendo estos principalmente alicina, capsaicina, bisulfuro de alilo, limoneno, ácido nicotínico y carotenoides; posee propiedades insecticidas, nematocidas, fungicidas y bactericidas, sin embargo, generalmente se emplea como insecticida o repelente contra organismos como minadores, trips, mosca blanca, áfidos y ácaros. [76] Es por esto, que se plantea la posibilidad de estudiar y analizar los hidrolatos ajo-ají como control antifúngico en este caso sobre la Monilia (*Moniliophthora Roreri*).

#### **4. COMPARAR EL USO DE LOS HIDROLATOS AJO-AJÍ FRENTE A LOS TRATAMIENTOS ACTUALES EN LA MONILIA**

Los métodos de control sobre hongos patógenos como la Monilia (*Moniliophthora Roreri*) son actualmente el control cultural, químico y por modificación genética, los cuales han sido utilizados durante varios años como estrategia de protección de la semilla, planta y/o frutos; sin embargo, hoy en día su uso ha disminuido por los efectos secundarios que generan sobre la salud humana y el medio ambiente, incentivando la investigación y el uso de productos biológicos. Es en este sentido que los hidrolatos ajo-ají se presentan como una posible alternativa para suplir los tratamientos convencionales, es por ello que es necesario verificar si este es un producto rentable por medio de la comparación de parámetros como las condiciones de operación, duración de tratamiento, equipos usado en la aplicación, rentabilidad e impacto ambiental frente a los demás controles.

##### **4.1. Condiciones de operación de aplicación**

- Control agrícola: Se lleva a cabo según las condiciones de cultivo del cacao, siendo estas una temperatura entre 23 a 30°C, una altitud entre 300 a 1200 msnm y precipitaciones entre 1500 a 2000 mm/año, por lo que realiza una poda de frutos con cualquier síntoma de infección por el hongo generalmente cada 15 a 30 días, sin embargo, si las condiciones de cultivo son extremas y propician la aparición del hongo la poda se lleva a cabo cada 8 días. El fruto con presencia de hongo removido es recogido y sellado con el fin de evitar la esporulación por el viento, golpes o desprendimiento de las conidias, hasta que se genera su degradación. [1]
- Modificación genética: El gen R del fruto del cacao se modifica en un laboratorio de biología molecular donde se caracteriza por ser un proceso complejo y de varias etapas, iniciando con la identificación y caracterización del gen de interés de partes de la hoja, este se aísla y se introduce en un vector de resistencia al hongo, para luego ser clonado y llevarlo a la transformación siendo esta la integración del nuevo gen a la especie vegetal, y se procede al crecimiento de la plántula. Esta se lleva a siembra donde se requieren condiciones específicas las cuales son que la altura se encuentre entre 400 a 1200 msnm, una temperatura ideal de 27°C y precipitaciones promedio de 1073 mm/año. [77]
- Control químico: Los fungicidas más usados para el control de la Monilia son el mancozeb®, bayleton®, mertect®, plantvax® y óxido cuproso, donde estos deben ser

aplicados por aspersión antes de que el microorganismo aparezca o el fruto tenga los primeros síntomas de infección; su aplicación se lleva a las condiciones de cultivo del cacao y se realiza entre 7 a 14 días. Se recomienda que en la temporada de lluvia su aplicación se realice 2 veces cada vez que se repita su tratamiento, además se debe tener en cuenta la dirección del viento ya que al ser utilizado este puede dispersar el producto hacia lugares no deseados o hacia el personal que lo esté manipulando. [78]

- Control biológico: Tras realizar la extracción de los hidrolatos ajo-ají por maceración con solvente o extracción Soxhlet, se aplica por aspersión el producto asegurándose de cubrir por completo el fruto, donde su incidencia de aplicación dependerá de las propiedades de los hidrolatos debido a que según su naturaleza puede evaporarse más rápido; como por ejemplo al utilizar extractos de orégano sobre la *Monilia* se recomienda una incidencia de aplicación por aspersión entre 12 a 15 días. [20] Cabe resaltar que este proceso se lleva a cabo con las condiciones ambientales de cultivo.

Teniendo en cuenta lo anterior, las condiciones de operación que se maneja en la mayoría de los procesos dependerán de la zona del cultivo del cacao y los controles se adaptan a estos, sin embargo, la modificación genética es el control con más condiciones específicas para llevar a cabo. Por otro lado, la aplicación del control biológico y químico es más sencilla respecto a los otros dos controles pues este se da por aspersión.

#### **4.2. Duración de tratamiento**

- Control agrícola: El tiempo empleado para este control, desde la poda hasta el almacenamiento del fruto infectado, es de 15 a 20 minutos aproximadamente por cada planta, es por eso que para cultivos de aproximadamente 600 plantas como mínimo, el control se lleva durante 15 días realizándose por una sola persona; sin embargo, en los periodos de lluvia la poda se lleva a cabo dos veces a la semana con el fin de evitar que el hongo forme estructuras reproductivas y poder reducir la alta humedad propicia para su crecimiento. [79]
- Modificación genética: Debido a la complejidad de este control, el tiempo destinado para su tratamiento es de aproximadamente 3 horas durante la caracterización, modificación y amplificación, luego de ello el crecimiento de la plántula tardará entre 1 a 5 meses aproximadamente, estando sujeto a la limpieza de los equipos empleados en el

laboratorio, el tiempo empleado en la adaptación del nuevo vector y las condiciones de cultivo de la plántula. [80]

- Control químico: La aplicación del producto químico por aspersión de una planta de cacao se realiza entre 3 a 5 minutos, por lo que, para una cantidad mínima de 600 plantas en el cultivo, este tarda 2 días como máximo, contando con una sola persona a cargo; sin embargo, en temporada de lluvias según las condiciones de operación suele durar el doble de su aplicación normal. [79]
- Control biológico: Este control también se lleva a cabo por medio de la aspersión por lo que su tiempo de aplicación se asemejara al del control químico; sin embargo, no se conoce un dato exacto para los hidrolatos ajo-ají sobre el hongo *Moniliophthora Roreri*.

Al analizar lo mencionado anteriormente los controles que no disponen de un tiempo de aplicación alto, son el control químico y el control biológico, debido a que ambos usan el método de aspersión, el cual no es un proceso riguroso y con alta especificidad como lo es el control cultural y la modificación genética, descartando dichos controles como una solución rápida sobre el hongo.

#### **4.3. Equipos empleados en la aplicación**

- Control agrícola: Para llevar a cabo este control generalmente se hace uso de tijeras manuales, tijeras de poda alta, machete o segueta; sin embargo, para plantas más altas o de ramas muy gruesas se suele usar serrucho o motosierra, por último, se usan bolsas herméticas para almacenar los frutos con síntomas. [1] Algunos equipos mencionados anteriormente se pueden evidenciar en la Figura 26.

**Figura 26.**

*Equipos empleados para el control agrícola.*



*Nota.* Equipos empleados en la aplicación para el control agrícola, donde la herramienta de la parte superior izquierda corresponde a la segueta, superior derecha es el machete, inferior izquierda son las tijeras de poda e inferior derecha es la motosierra. Tomado de: Fundación MCCH, “Podas en el cacao”, (s.f.). [En línea]. Disponible en: [http://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/Podas\\_en\\_cacao.pdf](http://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/Podas_en_cacao.pdf)

- **Modificación genética:** Dentro de la modificación del gen R y su amplificación, este se lleva a cabo dentro de un laboratorio de biología molecular el cual cuenta con equipos y nueva tecnología especializada para llevar a cabo el control; sin embargo, a la hora de ser aplicado por el agricultor, éste solo realiza el proceso de cultivo común del cacao con plántulas o semillas anteriormente modificadas, por lo que sus herramientas son las más comunes en esta actividad como la pala, el rastrillo, carretilla, mangueras para sistemas de riego, azada, criba, entre otras. El equipo empleado para el cultivo de la plántula obtenida por este control se evidencia en la Figura 27.

### Figura 27.

*Equipo empleado para el cultivo de la plántula en la modificación genética.*



**Nota.** Equipo empleado para el cultivo de la plántula obtenido por la modificación genética. Tomado de: R. Esquivel, “Las 7 herramientas de la agricultura”, (2017). [En línea]. Disponible en:

<https://www.revista.ferrepat.com/herramientas/las-7-herramientas-agricultura-indispensables/>

- Control químico: El equipo más común empleado para la aplicación de fungicidas es una aspersora manual de motor con mochila, la cual es flexible, de estructura sencilla y de fácil mantenimiento; este le permite al operador trabajar durante 6 horas seguidas ya que cuenta con un motor de una potencia de 1.2 HP y tiene la capacidad de descarga de 8L de producto por minuto. [83]
- Control biológico: La aplicación de los hidrolatos ajo-ají se lleva a cabo con el mismo equipo implementado para la aspersión de fungicidas químicos, siendo este el aspersor manual de motor con mochila. El equipo empleado tanto para el control químico como para el biológico se evidencia en la Figura 28.

**Figura 28.**

*Equipo empleado para el control químico y biológico.*



*Nota.* Equipo empleado en la aplicación para el control químico y biológico. Tomado de: Swissmex, “Aspersora manual de mochila portátil lola 20 L”, (s.f). [En línea]. Disponible en: <https://www.swissmex.com/PortalWeb/productos/principal-productos/nacional/aspersi%C3%B3n/aspersoras-de-mochila-manuales/289001/>

Las herramientas usadas en la agricultura para todos estos controles son comunes y de fácil acceso, sin embargo, las más sencilla de usar son las relacionadas con el cultivo en la modificación genética y la poda del fruto como se evidencia en el control agrícola; por lo que, para hacer uso de las fumigadoras empleadas en el control químico y biológico, se requiere de una capacitación previa para el personal que lo esté manipulando y además de un mantenimiento riguroso y rutinario del equipo.

#### 4.4. Impacto ambiental

- Control agrícola: Las plantaciones del cacao son las especies más utilizadas para proporcionar sombra permanente a cultivos como el mango, marañón, papaya, borjón entre otros, y así proteger el suelo de la erosión y de la proliferación de malezas, por lo que también tienen la capacidad de mantener un clima equilibrado dentro del cultivo; por otro lado, al realizar el control agrícola las hojas no infectadas por el hongo que llegan a caer se descomponen y favorecen el contenido de materia orgánica en el suelo, además permiten que exista una mayor filtración de agua. Cabe resaltar que el cultivo del cacao es hábitat y refugio de la biodiversidad como aves e insectos, haciendo que este método sea una práctica amigable y una alternativa productiva ideal para la restauración de ecosistemas y recuperación de hábitat. [85]
- Modificación genética: Los impactos ambientales positivos asociados al uso de plantas modificadas genéticamente, son la reducción de los gases de efecto invernadero debido a la disminución del uso de fungicidas netamente químicos y permite realizar una siembra directa sin alterar la composición del suelo o provocar su erosión; sin embargo, presenta efectos imprevistos relacionados al ciclo de vida de los organismos que tienen contacto con el cultivo, modifica la transferencia del material genético en la polinización, cruzamientos mixtos, dispersión o la transferencia microbiana, y altera la biogeoquímica ya que tiene repercusiones sobre las poblaciones microbianas encargadas de regular el flujo de nitrógeno, fósforo y otros elementos esenciales para el crecimiento del cultivo. [86]
- Control químico: Este control tiene un impacto significativo en el ambiente debido a que su dispersión los convierte en contaminantes para los sistemas bióticos y abióticos, amenazando su estabilidad y representando así un peligro de salud pública. El uso excesivo de estos productos, provoca la aparición de especies resistentes a ellos siendo más difíciles de controlar, además al absorberse el producto sobre el suelo del cultivo estos pueden adherirse, trasladarse o filtrarse en cuerpos acuíferos cercanos a la zona, exponiendo directamente a los organismos que habitan en este o requieren de dicha agua para su supervivencia, debido a que alteran la composición y propiedades fisicoquímicas transformándose en una sustancia tóxica. [87]
- Control biológico: El uso del control biológico como lo son los hidrolatos ajo-ají, favorecen la preservación de la salud de los consumidores y agricultores, así como la

conservación de la fauna y flora, desarrollan resistencia más lentamente que los fungicidas químicos o genéticamente modificados, además evita la contaminación de las aguas y el aire, y no generan residuos contaminantes, ya que estos se preparan con sustancias biodegradables y con baja toxicidad. [16]

Los controles que afectan en mayor proporción al medio ambiente son los químicos y la modificación genética, pues tienen la capacidad de modificar y desequilibrar la dinámica entre los organismos al encontrarse con compuestos tóxicos o irreconocibles para su metabolismo; los controles agrícolas y biológicos son los que generan menor impacto negativo o afectaciones a los ecosistemas, pues su aplicación no genera residuos contaminantes y contribuyen al cuidado de la fauna y flora, sin embargo, el control biológico es una alternativa que promueve el cambio de tecnología y el área de investigación trayendo consigo un ahorro y optimización en los tiempos de operación y consumo energético.

Al analizar los cuatro parámetros de aplicación de los hidrolatos ajo-ají sobre el hongo *Moniliophthora Roreri* frente a los controles actuales, se infiere que este hidrolato puede lograr ser un producto competitivo para el mercado, con mayores beneficios y altos rendimientos supliendo métodos costosos, de difícil manipulación, y de gran afectación a la salud y al medio ambiente como lo son el método químico y la modificación genética; además tiene como ventaja la rapidez de aplicación y efecto en el control del crecimiento del hongo a comparación del tratamiento agrícola, por ende estos extractos pueden ser utilizados en diferentes fines en la producción agrícola desde aportar nutrientes a los cultivos hasta el control de plagas y enfermedades.

## 5. CONCLUSIONES

El ajo y el ají presentan propiedades antifúngicas debido a la presencia de alicina y capsaicina respectivamente, que actúan directamente sobre el hongo disminuyendo su absorción de oxígeno, dañando su membrana, interfiriendo con la replicación de su DNA y provocar la inhibición de lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, por lo que se consideran como materia prima potencial para la producción de biofungicidas, donde sus principios activos se obtienen en mayor proporción por métodos de maceración con solvente y extracción Soxhlet usando etanol, obteniendo una concentración cercana a los 96% con condiciones de operación controlables.

Estos hidrolatos tanto individual como en mezclas presentan porcentajes de inhibición entre 60 a 100% sobre organismos patógenos como hongos, bacterias e insectos usando una concentración mínima del 50% en pruebas in vitro por 12 a 15 días, recalando así el efecto antifúngico, antibacteriano e insecticida otorgado por los principios activos extraídos esperando altas inhibiciones cuando estos se usen sobre el hongo *Moniliophthora Roreri*, tras realizar la respectiva experimentación.

El uso de los hidrolatos ajo-ají en comparación a los controles actuales a partir de distintos parámetros de aplicación, trae consigo mayores ventajas en cuanto a facilidad, tiempo y efectividad de aplicación asegurando mínimas afectaciones negativas sobre el medio ambiente, y la salud de agricultores y consumidores, llegando a plantearse como un producto competitivo en el mercado que tiene como funcionalidad aportar nutrientes a los cultivos y controlar plagas.

El efecto de los biopreparados como los hidrolatos ajo-ají sobre el hongo *Moniliophthora Roreri* puede llegar a tener un alto porcentaje de inhibición en menos de 15 días según los estudios realizados en hongos similares, sin embargo, esto se deberá comprobar experimentalmente, brindando beneficios de bajos costos y producción de fungicidas sostenibles y limpios de sustancias químicas nocivas para la salud y el medio ambiente.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Pinzón y J. Rojas, *Guía técnica para el cultivo del cacao*, 5a. ed. Colombia: Federación Nacional de Cacaoteros, 2012.
- [2] Fundación Hondureña de Investigación Agrícola, *Proyecto promoción de sistemas agroforestales de alto valor con cacao en Honduras, la Moniliasis del cacao: El enemigo a vencer*, 2012. [En línea]. Disponible en: [http://www.fhia.org.hn/downloads/cacao\\_pdfs/La\\_moniliasis\\_del\\_cacao\\_el\\_enemigo\\_a\\_vencer.pdf](http://www.fhia.org.hn/downloads/cacao_pdfs/La_moniliasis_del_cacao_el_enemigo_a_vencer.pdf)
- [3] J. Osorio, et al., “Genome-wide association study reveals novel candidate genes associated with productivity and disease resistance to *Moniliophthora* spp. In cacao (*Theobroma cacao* L.)”, *G3: Genes, Genomes, Genetics*, vol. 10, no. 4, abril, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www-scopus-com.ezproxy.uamerica.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85084270763&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=&st2=&sid=0664095a5744f9345090858a37261f4a&sot=b&sdt=b&sl=68&s=TITLE+%28genome-wide+association+study+reveals+novel+candidate+genes+%29&relpos=1&citeCnt=1&searchTerm=>
- [4] F. Aranzazu y Jaimes, *Manejo de las Enfermedades del Cacao (*Theobroma Cacao* L) en Colombia, con Énfasis en Monilia (*Moniliophthora Roreri*)*, 2010. [En línea]. Disponible en: [https://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub\\_doctecnicos/fedecacao-pub-doc\\_04A.pdf](https://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub_doctecnicos/fedecacao-pub-doc_04A.pdf)
- [5] R. Villamizar, J. Osma y O. Ortiz, “Regional evaluation of fungal pathogen incidence in colombian cocoa crops”, *Agriculture (Switzerland)*, vol. 9, no. 3, artículo 44, marzo, 2019. [En línea] Disponible en: <https://www-scopus-com.ezproxy.uamerica.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85063640487&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&nlo=&nlr=&nls=&sid=1164693c53a51e6e8595758a61d2a4aa&sot=b&sdt=c1&cluster=scofreetoread%2c%22all%22%2ct&sl=39&s=TITLE-ABS-KEY+%28%22moniliophthora+roreri%22%29&relpos=5&citeCnt=0&searchTerm=>

- [6] P. Escobar et al., “Efecto in vitro de aceites esenciales de tres especies de Lippia sobre Moniliophthora Roreri (Cif. y Par.) Evans et al., agente causante de la moniliasis del cacao (*Theobroma cacao* L.), Revista Unal., vol. 61, no. 2, pp. 105-106, junio, 2012. [En línea]. Disponible en: [https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/view/35491/36145](https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/35491/36145)
- [7] R. Alvarado y F. Mejía, *Evaluación in vitro de hongos nativos antagonistas de Moniliophthora Roreri (Cif. & Par., Evans et al.,) en el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.)*, Tesis pre., Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua, 2016. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/3341>
- [8] A. Cubillos et al., “Study of the physical and chemical changes during the maturation of three cocoa clones, EET8, CCN51, and ICS60”, Journal of the Science of Food and Agriculture, vol. 99, no. 13, pp. 5910-5917, octubre, 2017. [En línea] Disponible en: <https://www-scopus-com.ezproxy.uamerica.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85070288391&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&nlo=&nlr=&nls=&sid=92907b6594ccdbb0a02dd8f95c767d5e&sot=b&sdt=cl&cluster=scofreetoread%2c%22all%22%2ct%2b%2bscopubyr%2c%222020%22%2ct%2c%222019%22%2ct&sl=43&s=TITLE-ABS-KEY+%28+%22characteristics+of+cocoa%22%29&relpos=5&citeCnt=3&searchTerm>  
 ≡
- [9] Fundación Yarumo. *Reactivar cacao en Cundinamarca*, 1a. ed. Colombia: 2017.
- [10] Dow AgroScience, “Ficha técnica Dithane (Mancozeb)”, (s.f.). [En línea]. [https://www.dowagro.com/content/dam/hdas/dowagro\\_mexico/pdfs/FT\\_FUN\\_MEX\\_Dithane\\_FMB.pdf](https://www.dowagro.com/content/dam/hdas/dowagro_mexico/pdfs/FT_FUN_MEX_Dithane_FMB.pdf).
- [11] Bayer CropScience, “Ficha técnica Bayleton”, (s.f.). [En línea]. <https://recintodelpensamiento.com/ComiteCafeteros/HojasSeguridad/Files/Fichas/FTBayleton201477103159.pdf>.
- [12] Syngenta Colombia, “Ficha técnica Mertect 500 SC”, (2019). [En línea]. <https://www.syngenta.com.co/product/crop-protection/fungicida/mertect-500-sc+&cd=3&hl=es-419&ct=clnk&gl=co>.

- [13] Edifarm, “Ficha técnica Plantvax”, (s.f.). [En línea]. [https://gestion.edifarm.com.ec/edifarm\\_quickagro/pdfs/productos/PLANTVAX-20181106-112711.pdf](https://gestion.edifarm.com.ec/edifarm_quickagro/pdfs/productos/PLANTVAX-20181106-112711.pdf).
- [14] Servicio agrícola y ganadero, “Ficha técnica Óxido Cuproso”, (s.f.). [En línea]. [https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/56f\\_etiqueta-oxido-cuproso-50-.pdf](https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/56f_etiqueta-oxido-cuproso-50-.pdf).
- [15] L. Yin et al., “Phylogenetic analysis and fungicide baseline sensitivities of monilia mumecola in China”, *Plant Disease*, vol. 103, no. 9, pp. 2231-2236, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www-scopus-com.ezproxy.uamerica.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85071788333&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=&st2=&sid=038528aa025c25c803533946589969df&sot=b&sdt=b&sl=37&s=TITLE-ABS-KEY+%28fungicide+AND+monilia%29&relpos=4&citeCnt=1&searchTerm=>
- [16] C. Cuervo, J. Escobar y K. Morad. *Biopreparados para el mejoramiento de la producción*, 1a. ed. Colombia: Asohofrucol, 2012.
- [17] Kaimuddin, Nasaruddin y D. Darwis, “Effect of soil management and biofertilizer application on cocoa's flower and fruit development”, 2nd International Conference of Interdisciplinary Research on Green Environmental Approach for Sustainable Development, vol. 575, no. 1, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www-scopus-com.ezproxy.uamerica.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85096495353&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=&st2=&sid=49e1ad487a01d15909df9afb46e71c66&sot=b&sdt=b&sl=72&s=TITLE+%28effect+of+soil+management+and+biofertilizer+application+on+cocoa%29&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=>
- [18] P. Tirado, A. Lopera y L. Ríos, “Estrategias de control de Moniliophthora Roreri y Moniliophthora perniciosa en Theobroma cacao L.: revisión sistemática”, *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria*, vol. 17, no. 3, pp. 417-430, doi: [http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol17\\_num3\\_art:517](http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol17_num3_art:517)
- [19] S. Leiva et al., “Assessment of the potential of trichoderma spp. strains native to bagua (Amazonas, Perú) in the biocontrol of frosty pod rot (Moniliophthora Roreri)”,

- Agronomy, vol. 10, no. 9, septiembre, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www-scopus-com.ezproxy.uamerica.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85091875747&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=&st2=&sid=84cd85042ac16b5f5e894acb70ebdd9f&sot=b&sdt=b&sl=79&s=TITLE+%28assessment+of+the+potential+of+trichoderma+spp.+strains+native+to+bagua%29&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=>
- [20] S. Espinosa et al., “Actividad antifúngica in vitro de extractos de *Origanum Vulgare* L, *Tradescantia Apathacea* Awartz y *Zingiber Officinale* Roscoe sobre *Moniliophthora Rorer*I (Cif & Par) evans et ál”, *Tecnología en Marcha*, vol. 24, no. 2, pp. 3-17, junio, 2011, [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835560.pdf>
- [21] FAO, *Repercusiones económicas de los cultivos transgénicos*, 1a. ed., Bogotá, Colombia, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/y5160s/y5160s02.pdf>
- [22] DANE, *Boletín mensual de insumos y factores asociados a la producción agropecuaria*, Número 82, Bogotá, Colombia, 2019. [En línea]. Disponible en: [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol\\_Insumos\\_abr\\_2019.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_abr_2019.pdf)
- [23] V. Mesa et al., “Fungicidas a partir de extractos vegetales: una alternativa en el manejo integrado de hongos fitopatógenos”, *RIA*, mar, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://ria.inta.gob.ar/sites/default/files/revisiones/mesa-castellano-2.pdf>.
- [24] M. López, “El ajo”, *Offarm*, vol. 26, no. 1, pp. 78-81, ene, 2007. [En línea]. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-el-ajo-13097334>.
- [25] H. Escobar, H. Pinzón y M. Parra, “Producción de semilla garantizada de ajo”, *Universidad Jorge Tadeo Lozano*, [En línea]. Disponible en: [https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/publication/field\\_attached\\_file/pdf-\\_produccion\\_de\\_semilla\\_garantizada\\_de\\_ajo-11-15.pdf](https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/publication/field_attached_file/pdf-_produccion_de_semilla_garantizada_de_ajo-11-15.pdf).
- [26] E. Calderón, *Aportaciones a la mecanización de la siembra del ajo diseño de una sembradora neumática de precisión*, Tesis doc., Facultad de Ingenierías Rural y

- Agropecuaria, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 2015, [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=117192>
- [27] J. Burba, “Producción de ajo”, Estación experimental agropecuaria La Consulta, [En línea]. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_produccion\\_de\\_ajo\\_doc\\_069.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_produccion_de_ajo_doc_069.pdf)
- [28] H. Ramírez, L. Castro y E. Martínez, “Efectos Terapéuticos del Ajo (*Allium Sativum*)”, Universidad de la Sierra Sur, vol. 3, no. 8, pp. 39-47, agosto, 2016, [En línea]. Disponible en: [http://www.unsis.edu.mx/revista/doc/vol3num8/A4\\_Efectos\\_Terapeuticos\\_Ajo.pdf](http://www.unsis.edu.mx/revista/doc/vol3num8/A4_Efectos_Terapeuticos_Ajo.pdf)
- [29] A. Soorni et al, “Transcriptome and phytochemical analyses provide insights into the organic sulfur pathway in *Allium hirtifolium*”, Scientific Reports, vol. 11, no. 1, diciembre, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www-scopus-com.ezproxy.uamerica.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85099207835&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&nlo=&nlr=&nls=&sid=a7dba5bf2890f18e2dfafa36137dff81&sot=b&sdt=cl&cluster=scofreetoread%2c%22all%22%2c%22bscopubyr%2c%222021%22%2c%2c%222020%22%2c%2c%222019%22%2c&sl=36&s=TITLE-ABS-KEY+%28%22+sulfur+compounds%22+%29&relpos=1&citeCnt=0&searchTerm=>
- [30] United States Department of Agriculture, “Nutrient data for raw garlic”, USDA, marzo, 2016 [En línea]. Disponible en: <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2953?fg=Vegetables+and+Vegetable+Products&man=&lfacet=&format=&count=&max=25&offset=150&sort=&qlookup=>
- [31] K. Juárez et at., “Efecto de extractos crudos de ajo (*Allium Sativum*) sobre el desarrollo in vitro de *Aspergillus Parasiticus* y *Aspergillus Niger*”, Polibotánica, vol. 1, no. 47, pp. 99-111, enero, 2019, [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/polib/n47/1405-2768-polib-47-99.pdf>
- [32] M. Córdova, *Extracción y purificación de Alicina a partir de ajo (*Allium Sativum* L.): Implicaciones analíticas*, Tesis mast., Facultad de Ingeniería, Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca, México, 2010, [En línea]. Disponible en: [http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/LITER\\_CIIDIROAX/](http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/LITER_CIIDIROAX/)

[8/C%C3%93RDOVA%20BETANCOURT%20M%2c%202010.pdf?sequence=1&isAllowed=y](#)

- [33] M. Safraz et al., “Efficacy of allicin against plant pathogenic fungi and unveiling the underlying mode of action employing yeast based chemogenetic profiling approach”, *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 7, abril, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www-scopus-com.ezproxy.uamerica.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85083296789&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=&st2=&sid=ff501cae489f7f8691c19e839dbfcb77&sot=b&sdt=b&sl=77&s=TITLE+%28efficacy+of+allicin+against+plant+pathogenic+fungi+and+unveiling+the+%29&relpos=0&citeCnt=2&searchTerm=>
- [34] F. Mejía, *Aislamiento y Caracterización Fisicoquímica de la Capsaicina de Tres Variedades de Ají*, Tesis pre, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador, 2013. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/5728/T-PUCE-5882.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [35] F. Vallejo, “El cultivo del pimentón *Capsicum annum* L.”, (s.f.). [En línea]. Disponible en: [http://www.bdigital.unal.edu.co/46253/16/958809528\\_Part03.PDF](http://www.bdigital.unal.edu.co/46253/16/958809528_Part03.PDF)
- [36] Fundación de Desarrollo Agropecuario, “Cultivo de ají”, (s.f.). [En línea]. Disponible en: <http://www.cedaf.org.do/publicaciones/guias/download/aji.pdf>
- [37] P. Yáñez et al., “Características morfológicas y de concentración de capsaicina en cinco especies nativas del género *Capsicum* cultivadas en Ecuador”, *Ciencias de la Vida*, vol. 22, no. 2, pp. 12-32, noviembre, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5969838.pdf>
- [38] Y. Li et al., “Capsaicin Functions as *Drosophila* Ovipositional Repellent and Causes Intestinal Dysplasia”, *Scientific Reports*, vol. 10, no. 1, diciembre, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www-scopus-com.ezproxy.uamerica.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85086673625&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=&st2=&sid=4debad2ac6152062e81ffe9d08de36ad&sot=b&sdt=b&sl=51&s=TITLE-ABS->

[KEY+%28%22capsaicin+functions+as+Drosophila%22%29&relpos=0&citeCnt=1&searchTerm=](#)

- [39] J. Palma et al., “Antioxidant profile of pepper (*Capsicum annuum* L.) fruits containing diverse levels of capsaicinoids”, *Antioxidants*, vol. 9, no. 9, pp. 1-19, septiembre, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www-scopus-com.ezproxy.uamerica.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85091181524&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=&st2=&sid=132708d2046dcc5f122964a1713f7e4f&sot=b&sdt=b&sl=38&s=TITLE+%28antioxidant+profile+of+pepper+%29&relpos=0&citeCnt=2&searchTerm=>
- [40] A & C scientific SAC, “La cromatografía líquida”, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.acssac.com/2017/06/06/novel-technologies/>
- [41] C. Salazar, C. Betancourth y T. Bacca, “Evaluación de extractos vegetales sobre mosca blanca en frijol en condiciones de laboratorio”, *Revista de Ciencias Agrícolas*, vol. 20, no. 1, pp. 50-61, enero, 2003. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/669>
- [42] A, Milyuhina et al., “Comparative evaluation of the antimicrobial properties of plant extracts”, *International Scientific and Practical Conference Biotechnology in the Agro-Industrial Complex and Sustainable Environmental Management*, vol. 613, no. 1, diciembre, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www-scopus-com.ezproxy.uamerica.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85099207707&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=&st2=&sid=e0768b8f5aaa757473b91a007b422ca6&sot=b&sdt=b&sl=72&s=TITLE+%28comparative+evaluation+of+the+antimicrobial+properties+of+plant+%29&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=>
- [43] DICROM, “Filtros de jeringa”, productos dicrom, (s.f.). [En línea]. Disponible en: <https://dicromingenieria.com.ar/product/filtros-de-heringa-729212-chromafil-xtra-pa-20-25/>
- [44] Z. Peršurić et al., “Assessment of the Biological Activity and Phenolic Composition of Ethanol Extracts of Pomegranate (*Punica granatum* L.) Peels”, *Molecules* (Basel,

- Switzerland), vol. 25, no. 24, diciembre, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www-scopus-com.ezproxy.uamerica.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85098607833&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=&st2=&sid=1d562a232c53a5bfaec2d97f9d525a8&sot=b&sdt=b&sl=90&s=TITLE+%28assessment+of+the+biological+activity+and+phenolic+composition+of+ethanol+extract+%29&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=>
- [45] HIELSCHER. “Extracción catalítica asistida por ultrasonidos”, Tecnología de ultrasonido, (s.f.). [En línea]. Disponible en: <https://www.hielscher.com/es/ultrasonically-assisted-catalytic-extraction.htm>
- [46] I. Pradas et al., *Elaboración de un extracto de Ajo rico en compuestos saludables*, 1a. ed., Colombia, Instituto de investigación y formación agraria y piscadería, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/e057cb85-3f06-48a9-a6b3-1eaba717951a/download>
- [47] FAO, *Biopreparados para el manejo sostenible de plagas y enfermedades en la agricultura urbana y periurbana*, 1a. ed., Bogotá, Colombia, 2010. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-as435s.pdf>
- [48] J. Lu et al., “Exploring Bioactive Compounds in Anaerobically Digested Slurry: Extraction, Characterization, and Assessment of Antifungal Activity”, *Waste and Biomass Valorization*, vol. 11, no. 5, pp. 1863 - 1872, mayo, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www-scopus-com.ezproxy.uamerica.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85058490663&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=&st2=&sid=a2c618a65c972ca34202a65c959f4705&sot=b&sdt=b&sl=35&s=TITLE-ABS-KEY+%28%22slurry+extraction%22%29&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=>
- [49] LLEAL S.A., “Mezclador de sólidos en V de laboratorio”, Producto feria virtual interempresas química, (s.f.). [En línea]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Quimica/FeriaVirtual/Producto-Mezclador-de-solidos-en-V-de-laboratorio-BL-8-BL16-66675.html>

- [50] SOGA, “Tanque filtro aeróbico”, Tienda ambiental SOGA, (s.f.). [En línea]. Disponible en: <https://tiendasoga.com/producto/tanque-filtro-aerobico-bajito/>
- [51] E. Salazar, *Efecto bacteriostático y bactericida de extractos de ají panca (Capsicum chinense) y pimiento (Capsicum annuum var. annuum) sobre cultivos de Escherichia coli ATCC 25922 y Staphylococcus aureus ATCC 25923*, Tesis pre., Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/5034>
- [52] N. Azahar, N. Mokhtar y M. Arifin. “Piper betle: a review on its bioactive compounds, pharmacological properties, and extraction process”, 5th International Conference of Chemical Engineering and Industrial Biotechnology, vol. 97. no. 1, diciembre, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www-scopus-com.ezproxy.uamerica.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85099149373&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&nlo=&nlr=&nls=&sid=651f99f37315ce67815fa3b382cd1151&sot=b&sdt=cl&cluster=scofreetoread%2c%22all%22%2ct%2bscopubyr%2c%222021%22%2ct%2c%222020%22%2ct%2c%222019%22%2ct&s1=41&s=TITLE-ABS-KEY+%28%22soxhlet%22+AND+%22+extracts%22%29&relpos=12&citeCnt=0&searchTerm=>
- [53] M. Dowlath et al., “Effect of solvents on phytochemical composition and antioxidant activity of cardiospermum halicacabum (L.) extracts”, Pharmacognosy Journal, vol. 12, no. 6, pp. 1241-1251, diciembre, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www-scopus-com.ezproxy.uamerica.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85092225753&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=&st2=&sid=ff787a311f0fc24b78acbbdc3a147c33&sot=b&sdt=b&sl=73&s=TITLE+%28effect+of+solvents+on+phytochemical+composition+and+antioxidant++%29&relpos=0&citeCnt=1&searchTerm=>
- [54] Select Science, “GCMS-QP2010 Plus by Shimadzu Europa GmbH”, Cromatografía productos, (s.f.). [En línea]. Disponible en: <https://www.selectscience.net/products/gcms-qp2010-plus/?prodID=81106>

- [55] E. López, *Producción de bebida alcohólica de alta calidad*, Tesis pre., Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad de las Américas Puebla, Puebla, México, 2008. [En línea]. Disponible en: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lpro/lopez\\_a\\_e/](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lpro/lopez_a_e/)
- [56] P. Rojas y R. Villca, “Determinación de la actividad antibacteriana in vitro del ajo (*Allium sativum*) contra *Streptococcus pyogenes* mediante el método por dilución”, *Revista Universidad Ciencia y Sociedad*, vol. 1, no. 4, sep, 2011. [En línea]. Disponible en: [http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S8888-88882011000200003&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S8888-88882011000200003&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- [57] A. Gonzales, *Obtención de aceites esenciales y extractos etanólicos de plantas del Amazonas*, Tesis pre., Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2004. [En línea]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1173/1/angelaandreagonzalezvilla.2004.pdf>
- [58] E. Cerda, *Estudio comparativo de la calidad del extracto de ajo obtenido por arrastre de vapor e hidrodestilación sometido previamente a un proceso de deshidratación*, Tesis pre., Facultad de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Coahuila, México, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/45675/Cerda%20Morales%2c%20Estefan%20Alejandra.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [59] L. Mugao et al., “In Vitro Control of *Phytophthora infestans* and *Alternaria solani* Using Crude Extracts and Essential Oils from Selected Plants”, *International Journal of Agronomy*, vol. 2020, julio, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.scopus-com.ezproxy.uamerica.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85089137963&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=&st2=&sid=9b4cd98e59d87b2d2f55815d73b6f756&sot=b&sdt=b&sl=72&s=TITLE+%28in+vitro+control+of+phytophthora+infestans+and+alternaria+solani%29&relpos=0&citeCnt=1&searchTerm=>
- [60] I. Mssillou et al., “Chemical Composition, Antioxidant Activity, and Antifungal Effects of Essential Oil from *Laurus nobilis* L. Flowers Growing in Morocco”, *Journal of Food Quality*, vol. 2020, no. 1, diciembre, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www-scopus-com.ezproxy.uamerica.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85099292837&origin=resultslist&sort=plf->

[f&src=s&st1=&st2=&sid=652968cf397bcafeff2219681aea77ab&sot=b&sdt=b&sl=91&s=TITLE+%28chemical+composition%2c+antioxidant+activity%2c+and+antifungal+effects+of+essential+oil%29&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85099384153&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=&st2=&sid=652968cf397bcafeff2219681aea77ab&sot=b&sdt=b&sl=91&s=TITLE+%28chemical+composition%2c+antioxidant+activity%2c+and+antifungal+effects+of+essential+oil%29&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=)

- [61] M. Durán, P. Gonzalez y L. Cardona, “Obtención y caracterización de la oleoresina de ajo”, *Ciencia y Tecnología*, vol. 1, no. 37, pp. 551-555, diciembre, 2007. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4183>
- [62] M. D’auria et al., “Extraction methods and their influence on yield when extracting thermo-vacuum-modified chestnut wood”, *Forests*, vol. 12, no. 1, pp. 1-13, enero, 2021. [En línea]. Disponible en: [https://www-scopus-com.ezproxy.uamerica.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85099384153&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&nlo=&nlr=&nls=&sid=8404c5bbb2b208346253e54d30235d9d&sot=b&sdt=c1&cluster=scofreetoread%2c%22all%22%2ct%2bscopubyr%2c%222021%22%2ct%2c%222020%22%2ct%2c%222019%22%2ct%2c%222018%22%2ct&sl=26&s=TITLE-ABS-KEY+%28%22soxhlet%22+%29&relpos=13&citeCnt=0&searchTerm=](https://www.scopus-com.ezproxy.uamerica.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85099384153&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&nlo=&nlr=&nls=&sid=8404c5bbb2b208346253e54d30235d9d&sot=b&sdt=c1&cluster=scofreetoread%2c%22all%22%2ct%2bscopubyr%2c%222021%22%2ct%2c%222020%22%2ct%2c%222019%22%2ct%2c%222018%22%2ct&sl=26&s=TITLE-ABS-KEY+%28%22soxhlet%22+%29&relpos=13&citeCnt=0&searchTerm=)
- [63] LABX, “Agilent HP 6890”, *Cromatografía en gas producto*, (s.f.). [En línea]. Disponible en: <https://www.labx.com/product/hp-6890>
- [64] M. Ahmed et al., “Alpha Amylase Inhibitory Potential and Mode of Inhibition of Oils from *Allium sativum* (Garlic) and *Allium cepa* (Onion)”, *Clinical Medicine Insights: Endocrinology and Diabetes*, vol. 13, pp. 1-5, septiembre, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www-scopus-com.ezproxy.uamerica.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85092400035&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&nlo=&nlr=&nls=&sid=7d3503a9c22fb5ac46748f8a1f780ccd&sot=b&sdt=cl&cluster=scofreetoread%2c%22all%22%2ct&sl=66&s=TITLE-ABS-KEY+%28%22soxhlet+extraction%22+AND+%22Chili+peper%22+OR+%22garlic%22%29&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=>
- [65] A. Caldas, *Optimización escalamiento y diseño de una planta piloto de extracción sólido líquido*, Tesis pre., Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2012. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/2468>

- [66] M. Ardila et al., “Ensayo preliminar de la actividad antibacteriana de extractos de *Allium Sativum*, *Coriandrum Sativum*, *Eugenia Caryophyllata*, *Origanum Vulgare*, *Rosmarinus Officinalis* y *Thymus Vulgaris* frente a *Clostridium Perfringens*”, *Biosalud*, vol 8, no. 1, pp. 47-57, diciembre, 2009. [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/biosa/v8n1/v8n1a07.pdf>
- [67] E. López, M. Vázquez y R. Olayo, “Propiedades antimicóticas del ajo”, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2016. [En línea]. Disponible en: [https://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria24/feria295\\_01\\_propiedades\\_antimicoticas\\_del\\_ajo.pdf](https://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria24/feria295_01_propiedades_antimicoticas_del_ajo.pdf)
- [68] M. Adirano et al., “Efecto de extractos alcohólicos de ajo (*Allium sativum*) y clavo (*Syzygium aromaticum*) en el desarrollo de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet”, *Rev. Mexicana de Fitopatología*, vol. 36, no. 3, pp. 379-393, agosto, 2018. doi: <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1805-2>
- [69] K. Juárez et al., “Efecto de extractos crudos de ajo (*Allium Sativum*) sobre el desarrollo in vitro de *Aspergillus Parasiticus* y *Aspergillus Niger*”, *Polibotánica*, no. 47, pp. 99-111, enero, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.18387/polibotanica.47.8>
- [70] S. Moreno et al., “Efecto antifúngico de capsaicina y extractos de chile piquín (*Capsicum Annum* L. Var. *Aviculare*) sobre el crecimiento in vitro de *Aspergillus Flavus*”, *Revista Polibotánica*, no. 34, pp. 171-184, agosto, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/621/62123051008.pdf>
- [71] G. Terrones, “Efecto antifúngico del extracto etanólico de frutos secos de *Capsicum Annum* Var. *Annum* “pimentón” sobre el crecimiento de *Alternaria Solani*, *Fusarium Oxysporum* y *Aspergillus Niger*”, *Sagasteguiana*, vol. 1, no. 2, pp. 31-40, diciembre, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/REVSAGAS/article/view/1794/1749>
- [72] P. Zhao et al., “Comparison of antibacterial effects of capsaicin monomer, dihydrocapsaicin monomer and nordihydrocapsaicin monomer”, *Beijing Huagong Daxue Xuebao (Ziran Kexueban) /Journal of Beijing University of Chemical Technology (Natural Science Edition)*, vol. 46, no. 3. pp. 61-65, mayo, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.scopus->

[com.ezproxy.uamerica.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85068930666&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&nlo=&nlr=&nls=&sid=43416129ee9edfb0426696190a0db696&sot=b&sdt=cl&cluster=scopubyr%2c%222019%22%2ct&sl=49&s=TITLE-ABS-KEY+%28%22Aspergillus+Niger%22+AND+capsaicin%29&relpos=0&citeCnt=0&se archTerm=](http://com.ezproxy.uamerica.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85068930666&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&nlo=&nlr=&nls=&sid=43416129ee9edfb0426696190a0db696&sot=b&sdt=cl&cluster=scopubyr%2c%222019%22%2ct&sl=49&s=TITLE-ABS-KEY+%28%22Aspergillus+Niger%22+AND+capsaicin%29&relpos=0&citeCnt=0&se archTerm=)

- [73] É. Varón et al., Manual técnico del manejo de trips en maracuyá, 1a. ed., Bogotá, Colombia, 2018. [En línea]. Disponible en: [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13502/44908\\_60247.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13502/44908_60247.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [74] H. Vera, “Bioensayos para potenciar extractos vegetales y controlar insectos-plagas del tomate (*Lycopersicon Esculentum* Mill)”, Investigación y Difusión Científica Agropecuaria, vol. 20, no. 3, pp. 17-32, diciembre, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://ww.ucol.mx/reviaia/portal/pdf/2016/sept/2.pdf>
- [75] C. Velásquez, *Efectos de dos insecticidas orgánicos en el control del gusano cogollero (*Spodoptera Rugiperda*), en la etapa de crecimiento del cultivo de maíz (*Zea Mays L*) variedad trueno 74 nb 7443, en la comunidad moran valverde 1, parroquia san carlos, cantón la joya de los sachas, provincia de orellana*, Tesis pre., Facultad de Ingeniería, Universidad de Loja, Loja, Ecuador, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/15655/1/TESIS%20%20FINAL...pdf>
- [76] Agrobiológicos Safer, “Ficha técnica Alisin”, (s.f.), [En línea]. Disponible en: <https://safer.com.co/wp-content/uploads/2020/04/F.T-Alisin.pdf>
- [77] D. Gutierrez, R. Ruiz y B. Xoconostle, *Actual estado de los cultivos genéticamente modificados en México y su contexto internacional*, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/images/cibiogem/comunicacion/publicaciones/Estado-actual-de-los-cultivos.pdf>
- [78] Syngenta, “La monilia en frutales de hueso”, (s.f.). [En línea]. Disponible en: <https://www.syngenta.es/file/6056/download>

- [79] A. Sanchez, Finca el Espejo, Tocaima, Cundinamarca, Colombia. Entrevista 2020.
- [80] X. Ruiz et al., “Comparación genética de tres fuentes del cacao Theobroma Cacao L., mediante el uso de marcadores microsatélites”, *Biocología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 13, no. 1, pp. 10-18, junio, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v13n1/v13n1a02.pdf>
- [81] Fundación MCCH, “Podas en el cacao”, (s.f.). [En línea]. Disponible en: [http://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/Podas\\_en\\_cacao.pdf](http://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/Podas_en_cacao.pdf)
- [82] R. Esquivel, “Las 7 herramientas de la agricultura”, (2017). [En línea]. Disponible en: <https://www.revista.ferrepat.com/herramientas/las-7-herramientas-agricultura-indispensables/>
- [83] R. Esquivel, “Equipos de fumigación profesional y doméstico”, (2016). [En línea]. Disponible en: <https://www.revista.ferrepat.com/herramientas/equipo-de-fumigacion-profesional-domestico/>
- [84] Swissmex, “Aspersora manual de mochila portátil lola 20 L”, (s.f.). [En línea]. Disponible en: <https://www.swissmex.com/PortalWeb/productos/principal-productos/nacional/aspersi%C3%B3n/aspersoras-de-mochila-manuales/289001/>
- [85] M. Larrea, *El cultivo del cacao nacional: Un bosque generoso*, Quito, Ecuador, Manual de campo para la implementación de prácticas amigables con la biodiversidad en cultivos de Cacao Nacional, 2008. [En línea]. Disponible en: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/43804.pdf>
- [86] FAO, *Los organismos modificados genéticamente, los consumidores, la inoculación de los alimentos y el medio ambiente*, 1a. ed., Bogotá, Colombia, 2001. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/X9602S/x9602s07.htm#TopOfPage>
- [87] A. Puerto, S. Suárez y D. Palacio, “Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud”, *Rev. Cubana de higiene y Epidemiología*, vol. 52, no. 3, diciembre, 2014. [En línea]. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1561-30032014000300010](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032014000300010)

## GLOSARIO

**Basidiomiceto:** es una división de los hongos que se caracterizan por producir esporas sexuales externas (basidios) con forma circular, las cuales forman anillos o hileras circulares.

**Carpelo:** es el órgano de reproducción femenino de las flores, las cuales poseen uno o más óvulos.

**Conidia:** espora asexual de e inmóvil presentes en hongos, formadas directamente en una hifa o en una célula conidiógena o esporógena

**Elongada:** forma alargada o estirada

**Endopatógeno:** clasificación de los microorganismos capaces de producir enfermedades comunes o letales formándose desde el interior de otro organismo.

**Enzima Lítica:** proteína soluble que tiene la facultad de perturbar y disolver la pared celular de otro organismo

**Esporulación:** forma de reproducción asexual de las esporas, el cual consiste en la duplicación del ADN, formación de la septoespora y su liberación al medio.

**Estípula:** estructura laminar presente generalmente en la base de las hojas de muchas especies con el fin de proteger las estructuras las estructuras asociadas a ellas.

**Fitopatógeno:** organismos o microorganismos que generan enfermedades en las plantas tras expulsar enzimas, toxinas y/u otras sustancias capaces de causar alteraciones en el metabolismo celular.

**Germoplasma:** conjunto o banco de genes que se utilizan para determinar la diversidad genética de las especies vegetales

**Hifas hialinas:** es un tejido conjunto de las células que forman una red de filamentos cilíndricos que conforman la estructura del cuerpo de los hongos.

**Hidrolatos:** destilado acuoso herbal que resulta de un proceso de destilación y se compone principalmente de aceites esenciales y metabolitos secundarios

**Levulosa:** glúcido encontrado en vegetales, frutas y en la miel, siendo sustituto del azúcar.

**Mortero:** es un utensilio de laboratorio que consiste en un recipiente de piedra, cerámica, madera u otro material con forma de vaso ancho de cavidad semiesférica y un pequeño mazo, usado para triturar o moler alguna sustancia.

**Pecíolo:** es un apéndice saliente de la hoja que la une a su base foliar o al tallo:

**Rastrojo:** denominación de la tierra que tiene un conjunto de restos de tallos y hojas que quedan tras cortar un cultivo.

**Scoville:** nombre de la escala que se usa para medir el picor o pungencia de los pimientos.

**Septado:** denominación de las hifas que se poseen tabiques o ramificaciones.

**Suelo arcilloso:** suelo en el que predomina la arcilla de textura pesada, pegajoso cuando está húmedo y muy duro ante carencia de agua.

**Suelo arenoso:** denominación del suelo compuesto por minúsculas partículas de piedra de 0.05 a 2 milímetros de diámetro y tiene una textura rasposa

**Suelo franco:** suelo que se compone de un 45% de arena, 40% de limo y 15% de arcilla; usado para una alta actividad agrícola.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### RECOMENDACIONES

- Es conveniente realizar pruebas in vitro con hidrolatos ajo-ají sobre el hongo *Moniliophthora Roreri* para comprobar su efecto antifúngico, y hallar la concentración mínima de inhibición y su porcentaje. En las pruebas a realizar se deben establecer diferentes concentraciones del extracto con diferentes solventes y analizar sus rendimientos.
- Es necesario estudiar el efecto inhibitorio de los hidrolatos ajo-ají con el paso de los días, teniendo como mínimo 12 días de prueba y como máximo 30 días, determinando por intervalos en qué tiempo se consigue la máxima inhibición o en qué tiempo estos hidrolatos pierden su efecto antifúngico.
- Se recomienda una prueba in vivo sobre mínimo dos plantas aisladas del cultivo de cacao que presenten síntomas iniciales de infección por el hongo *Moniliophthora Roreri*, para determinar la incidencia de aplicación del producto y posibles afectaciones en el tallo, hojas, raíces y fruto.
- A partir de la experimentación se recomienda determinar la energía conceptual, balances de masa, condiciones de operación, análisis dimensional tanto de la zona como de los equipos empleados y tiempos de residencia, para escalar la producción de los hidrolatos ajo-ají a nivel industrial.
- Para el estudio de la rentabilidad del proceso de producción de los hidrolatos a partir de una comparación con los controles actuales, se recomienda el estudio de costos asociados en cuanto a la capacitación de trabajadores, a su salario mínimo, adquisición de maquinaria y mantenimiento, fácil acceso a materias primas y transporte de producto.