



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**Trabajo de titulación presentado como requisito previo a la obtención del título  
de Ingeniero Forestal**

**EFFECTOS ALELOPÁTICOS DE *Alnus nepalensis* D. DON EN CUATRO CULTIVOS  
AGRÍCOLAS DE IMPORTANCIA SOCIOECONÓMICA EN LA ZONA DE INTAG,  
NOROCCIDENTE DEL ECUADOR**

**AUTOR**

Guillermo David Varela Jácome

**DIRECTORA**

Ing. Karla Fernanda Dávila Pantoja, Mgs.

**IBARRA - ECUADOR**

2017

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES  
CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

EFFECTOS ALELOPÁTICOS DE *Alnus nepalensis* D. DON EN CUATRO CULTIVOS  
AGRÍCOLAS DE IMPORTANCIA SOCIOECONÓMICA EN LA ZONA DE INTAG,  
NOROCCIDENTE DEL ECUADOR

Trabajo de titulación revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza la presentación como  
requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

**APROBADO**

Ing. Karla Fernanda Dávila Pantoja, Mgs.  
**Directora de trabajo de titulación**

Ing. Hugo Vinicio Vallejos Álvarez, Mgs.  
**Tribunal de trabajo de titulación**

Ing. Mario José Añazco Romero, Mgs.  
**Tribunal de trabajo de titulación**

Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja.  
**Tribunal de trabajo de titulación**

Ibarra - Ecuador

2017



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>Cédula de ciudadanía:</b>	100364871-2		
<b>Apellidos y nombres:</b>	Varela Jácome Guillermo David		
<b>Dirección:</b>	Calixto Miranda y Tobías Mena 8-98		
<b>Email:</b>	<a href="mailto:gvarelaj1993@yahoo.com">gvarelaj1993@yahoo.com</a>		
<b>Teléfono fijo:</b>	2611016	<b>Teléfono</b>	0983958841

DATOS DE LA OBRA	
<b>Título:</b>	<b>EFFECTOS ALELOPÁTICOS DE <i>Alnus nepalensis</i> D. DON EN CUATRO CULTIVOS AGRÍCOLAS DE IMPORTANCIA SOCIOECONÓMICA EN LA ZONA DE INTAG, NOROCCIDENTE DEL ECUADOR</b>
<b>Autor:</b>	Guillermo David Varela Jácome
<b>Fecha:</b>	25 de mayo del 2017
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
<b>Programa:</b>	Pregrado
<b>Título por el que opta:</b>	Ingeniero Forestal
<b>Directora:</b>	Ing. Karla Fernanda Dávila Pantoja, Mgs.

## 2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Guillermo David Varela Jácome, con cédula de ciudadanía Nro. 100364871-2; en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago la entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior, Artículo 144.

## 3. CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros; por lo tanto la obra es original y es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 25 de mayo del 2017

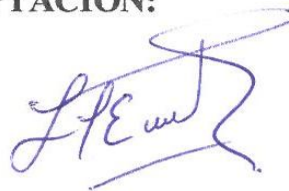
**EL AUTOR:**



Guillermo David Varela Jácome

C.C.: 100364871-2

**ACEPTACIÓN:**



Ing. Betty Mireya Chávez Martínez

**JEFA DE BIBLIOTECA**



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Guillermo David Varela Jácome, con cédula de ciudadanía Nro. 100364871-2; manifiesto la voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de titulación denominado **EFFECTOS ALELOPÁTICOS DE *Alnus nepalensis* D. DON EN CUATRO CULTIVOS AGRÍCOLAS DE IMPORTANCIA SOCIOECONÓMICA EN LA ZONA DE INTAG, NOROCCIDENTE DEL ECUADOR**, que ha sido desarrollada para optar por el título de Ingeniero Forestal en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Guillermo David Varela Jácome

C.C.: 100364871-2

Ibarra, 25 de mayo del 2017

## REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

**Guía:** FICAYA - UTN

**Fecha:** 25 de mayo del 2017

Guillermo David Varela Jácome: **EFFECTOS ALELOPÁTICOS DE *Alnus nepalensis* D. DON EN CUATRO CULTIVOS AGRÍCOLAS DE IMPORTANCIA SOCIOECONÓMICA EN LA ZONA DE INTAG, NOROCCIDENTE DEL ECUADOR** /Trabajo de titulación. Ingeniero Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal. Ibarra, 25 de mayo del 2017. 128 páginas.

**DIRECTORA:** Ing. Karla Fernanda Dávila Pantoja, Mgs.

El objetivo general de la presente investigación fue: Determinar los efectos alopáticos de *Alnus nepalensis* D. Don en cuatro cultivos agrícolas (*Solanum betaceum* Cav, *Coffea arabica* L, *Zea mays* L y *Phaseolus vulgaris* L). Entre los objetivos específicos se encuentra: Evaluar los efectos sobre la germinación en semillas de *Solanum betaceum* Cav, *Coffea arabica* L, *Zea mays* L y *Phaseolus vulgaris* L al ser tratadas con extractos acuosos de *Alnus nepalensis* D. Don y evaluar los efectos en el crecimiento inicial de *Solanum betaceum* Cav, *Coffea arabica* L, *Zea mays* L y *Phaseolus vulgaris* L en sustrato compuesto de material vegetal de *Alnus nepalensis* D. Don.

**Fecha:** 25 de mayo del 2017



.....  
Ing. Karla Fernanda Dávila Pantoja, Mgs.

**Directora de Trabajo de Titulación**



.....  
Guillermo David Varela Jácome

**Autor**

## DEDICATORIA

*A mi familia que me ha apoyado en cada paso importante que he dado a lo largo de toda mi vida., brindándome sabios consejos, comprensión y apoyo en los momentos que más lo necesité.*

*A mis profesores que han compartido conmigo sus invaluable conocimientos y a mis compañeros que siempre han estado conmigo tanto en los buenos como en los malos momentos.*

## AGRADECIMIENTO

*A mi tío Bolívar Varela por todo el apoyo brindado en la ejecución de esta investigación; a mis padres y hermanas por su paciencia, confianza y la ayuda brindada tanto moral, como en la ejecución del trabajo; a mi tío Fabián Jácome por el tiempo dedicado a la investigación; al Sr Franklin Navarrete, Isauro Bolaños y José Luis Torres por compartir sus valiosos conocimientos y experiencias en la propagación y el manejo de las especies analizadas; a la Ing Karla Dávila, por la dedicación demostrada en la dirección de la investigación; al Ing Mario Añazco, al Ing Hugo Vallejos, a la Dra Silvia Montes y a la Ing María Vizcaíno por las acertadas observaciones realizadas durante el desarrollo de la tesis; al Ing Miguel Echeverría, al Ing Eduardo Chagna, al Ing Walter Palacios, al Ing Jorge Ramírez y a todo el cuerpo docente de la carrera de Ingeniería forestal de la Universidad Técnica del Norte por sus valiosos consejos que enriquecieron esta investigación.*



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Págs.
<b>HOJA DE APROBACIÓN DEL COMITÉ ASESOR.....</b>	<b>ii</b>
<b>IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA .....</b>	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....</b>	<b>iv</b>
<b>CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE .....</b>	<b>v</b>
<b>REGISTRO BIBIOGRÁFICO .....</b>	<b>vi</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>vii</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS.....</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>xv</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>xv</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xviii</b>
<b>CAPITULO I .....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1      Objetivos .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.1    General.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.2    Específicos .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2      Hipótesis.....</b>	<b>3</b>

CAPITULO II.....	4
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Fundamentación legal .....	4
2.1.1 Constitución política de la República del Ecuador .....	4
2.1.2 Plan Nacional para el Buen Vivir (2013-2017) .....	4
2.2 Fundamentación teórica .....	5
2.2.1 Alelopatía.....	5
2.2.1.1 Alelopatía y competencia.....	6
2.2.1.2 Agentes alelopáticos .....	7
2.2.1.3 Efectos alelopáticos .....	9
2.2.2 La semilla.....	14
2.2.2.1 Estructura interna.....	15
2.2.2.2 Clasificación .....	16
2.2.2.3 Viabilidad.....	18
2.2.3 Descripción de las especies.....	20
2.2.3.1 Aliso ( <i>Alnus nepalensis</i> D. Don) .....	20
2.2.3.2 Café ( <i>Coffea arabica</i> L.).....	22
2.2.3.3 Fréjol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) .....	24
2.2.3.4 Maíz ( <i>Zea mays</i> L.).....	26
2.2.3.5 Tomate de árbol ( <i>Solanum betaceum</i> Cav.).....	28
2.2.4 Importancia económica de las especies agrícolas estudiadas .....	30
2.2.5 Investigaciones realizadas.....	31
2.2.5.1 An Assessment of Phytotoxic Potential of Promising Agroforestry Trees on Germination and Growth Pattern of Traditional Field Crops of Sikkim Himalaya, India .....	31
2.2.5.2 Phytotoxic effects of agroforestry tree crops on germination and radicle growth of some food crops of Mizoram .....	31
2.2.5.3 Efectos alelopáticos sobre los cultivos agrícolas a evaluarse .....	32

CAPÍTULO III.....	33
MATERIALES Y MÉTODOS .....	33
3.1 Ubicación del sitio.....	33
3.1.1 Política .....	33
3.1.1.1 Fase de laboratorio.....	33
3.1.1.2 Fase de campo.....	33
3.1.2 Geográfica.....	33
3.1.3 Límites .....	33
3.2 Datos climáticos .....	34
3.3 Materiales, equipos e insumos .....	34
3.3.1 Materiales.....	34
3.3.1.1 Fase de laboratorio.....	34
3.3.1.2 Fase de campo.....	34
3.3.2 Equipos .....	35
3.3.3 Insumos .....	35
3.4 Metodología .....	35
3.4.1 Evaluación de los efectos alelopáticos en la germinación (fase de laboratorio).....	35
3.4.1.1 Manejo estadístico del experimento.....	35
3.4.1.2 Manejo específico del experimento .....	39
3.4.2 Evaluación de los efectos alelopáticos en el crecimiento inicial (fase de campo).....	43
3.4.2.1 Manejo estadístico del experimento.....	44
3.4.2.2 Manejo específico del experimento .....	48
CAPÍTULO IV.....	51
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	51
4.1 Resultados .....	51
4.1.1 Efectos alelopáticos en la germinación de los cultivos agrícolas .....	51
4.1.1.1 Porcentaje de germinación.....	51

	<b>Págs.</b>
4.1.1.2 Vigor germinativo.....	54
4.1.1.3 Longitud radicular.....	56
4.1.2 Evaluación de los efectos alelopáticos en el crecimiento inicial de los cultivos .....	59
4.1.2.1 Sobrevivencia.....	59
4.1.2.2 Diámetro basal .....	60
4.1.2.3 Altura .....	62
4.1.2.4 Número de hojas .....	63
4.1.3 Aplicación del modelo de regresión lineal.....	66
4.1.4 Resumen de los resultados .....	68
CAPÍTULO V.....	71
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	71
5.1 Conclusiones .....	71
5.2 Recomendaciones .....	72
CAPÍTULO VI.....	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
CAPÍTULO VII .....	81
ANEXOS .....	81
<b>Anexo 1.</b> Ubicación del sitio .....	81
<b>Anexo 2.</b> ADEVAS .....	82
<b>Anexo 3.</b> Evolución de las variables.....	95
<b>Anexo 4.</b> Tendencia de las variables del crecimiento inicial.....	99
<b>Anexo 5.</b> Ecuaciones obtenidas aplicando el modelo de regresión lineal .....	102
<b>Anexo 6.</b> Evidencia fotográfica .....	104

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Págs.</b>
<b>Tabla 1.</b> Tratamientos .....	36
<b>Tabla 2.</b> Características del experimento (fase de laboratorio).....	38
<b>Tabla 3.</b> ADEVA.....	39
<b>Tabla 4.</b> Características del experimento (fase de vivero).....	47
<b>Tabla 5.</b> Resultados del porcentaje de germinación.....	51
<b>Tabla 6.</b> Resultados del vigor germinativo .....	54
<b>Tabla 7.</b> Resultados de la longitud radicular.....	56
<b>Tabla 8.</b> Resultados de la sobrevivencia .....	59
<b>Tabla 9.</b> Resultados del diámetro basal.....	60
<b>Tabla 10.</b> Resultados de la altura .....	62
<b>Tabla 11.</b> Resultados del número de hojas.....	64
<b>Tabla 12.</b> Resumen de los resultados .....	68
<b>Tabla 13.</b> ADEVA del porcentaje de germinación del fréjol.....	82
<b>Tabla 14.</b> ADEVA del porcentaje de germinación del maíz.....	82
<b>Tabla 15.</b> ADEVA del porcentaje de germinación del café.....	82
<b>Tabla 16.</b> ADEVA del porcentaje de germinación del tomate .....	83
<b>Tabla 17.</b> Prueba de DUNCAN del porcentaje de germinación del tomate .....	83
<b>Tabla 18.</b> ADEVA del vigor germinativo del fréjol .....	83
<b>Tabla 19.</b> ADEVA del vigor germinativo del maíz .....	84
<b>Tabla 20.</b> ADEVA del vigor germinativo del café .....	84
<b>Tabla 21.</b> ADEVA del vigor germinativo del tomate .....	84
<b>Tabla 22.</b> Prueba de DUNCAN del vigor germinativo del tomate .....	85
<b>Tabla 23.</b> ADEVA de la longitud radicular del maíz.....	85
<b>Tabla 24.</b> ADEVA de la longitud radicular del café.....	85
<b>Tabla 25.</b> ADEVA de la longitud radicular del fréjol.....	86
<b>Tabla 26.</b> Prueba de DUNCAN de la longitud radicular del fréjol.....	86
<b>Tabla 27.</b> ADEVA de la longitud radicular del tomate.....	86

	<b>Págs.</b>
<b>Tabla 28.</b> Prueba de DUNCAN de la longitud radicular del tomate.....	87
<b>Tabla 29.</b> ADEVA de la sobrevivencia del maíz.....	87
<b>Tabla 30.</b> ADEVA de la sobrevivencia del fréjol .....	87
<b>Tabla 31.</b> ADEVA de la sobrevivencia del café .....	88
<b>Tabla 32.</b> ADEVA de la sobrevivencia del tomate de árbol.....	88
<b>Tabla 33.</b> ADEVA del diámetro basal del fréjol.....	88
<b>Tabla 34.</b> ADEVA del diámetro basal del maíz.....	89
<b>Tabla 35.</b> ADEVA del diámetro basal del café.....	89
<b>Tabla 36.</b> Prueba de DUNCAN del diámetro basal del café.....	89
<b>Tabla 37.</b> ADEVA del Diámetro basal del tomate de árbol.....	90
<b>Tabla 38.</b> Prueba de DUNCAN del diámetro basal del tomate de árbol .....	90
<b>Tabla 39.</b> ADEVA de la altura del maíz .....	90
<b>Tabla 40.</b> ADEVA de la altura del fréjol .....	91
<b>Tabla 41.</b> ADEVA de la altura del café .....	91
<b>Tabla 42.</b> Prueba de DUNCAN de la altura del café .....	91
<b>Tabla 43.</b> ADEVA de la altura del tomate de árbol.....	92
<b>Tabla 44.</b> Prueba de DUNCAN de la altura del tomate de árbol.....	92
<b>Tabla 45.</b> ADEVA del número de hojas del maíz.....	92
<b>Tabla 46.</b> ADEVA del número de hojas del fréjol.....	93
<b>Tabla 47.</b> ADEVA del número de hojas del café.....	93
<b>Tabla 48.</b> Prueba de DUNCAN del número de hojas del café.....	93
<b>Tabla 49.</b> ADEVA del número de hojas del tomate de árbol .....	94
<b>Tabla 50.</b> Prueba de DUNCAN del número de hojas del tomate de árbol .....	94
<b>Tabla 51.</b> Ecuaciones de regresión y coeficientes de determinación.....	102

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Págs.</b>
<b>Figura 1.</b> Estructura interna del embrión .....	15
<b>Figura 2.</b> Estructura interna de la semilla .....	16
<b>Figura 3.</b> Estructuras botánicas del aliso .....	21
<b>Figura 4.</b> Estructuras botánicas del café .....	23
<b>Figura 5.</b> Estructuras botánicas del fréjol .....	25
<b>Figura 6.</b> Estructuras botánicas del maíz .....	27
<b>Figura 7.</b> Estructuras botánicas del tomate de árbol .....	29
<b>Figura 8.</b> Distribución de los tratamientos en el laboratorio.....	37
<b>Figura 9.</b> Distribución de los tratamientos en el vivero.....	46
<b>Figura 10.</b> Ubicación del sitio de estudio. ....	81

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1.</b> Porcentaje de germinación.....	52
<b>Gráfico 2.</b> Vigor germinativo.....	55
<b>Gráfico 3.</b> Longitud radicular.....	57
<b>Gráfico 4.</b> Supervivencia.....	60
<b>Gráfico 5.</b> Diámetro basal .....	61
<b>Gráfico 6.</b> Altura .....	63
<b>Gráfico 7.</b> Número de hojas .....	65
<b>Gráfico 8.</b> Evolución porcentaje de germinación del tomate de árbol.....	95
<b>Gráfico 9.</b> Evolución longitud radicular del fréjol.....	95

<b>Gráfico 10.</b> Evolución longitud radicular del tomate de árbol.....	96
<b>Gráfico 11.</b> Evolución diámetro basal del café .....	96
<b>Gráfico 12.</b> Evolución diámetro basal del tomate de árbol.....	97
<b>Gráfico 13.</b> Evolución altura del café .....	97
<b>Gráfico 14.</b> Evolución altura del tomate de árbol .....	98
<b>Gráfico 15.</b> Evolución número de hojas del café.....	98
<b>Gráfico 16.</b> Evolución número de hojas del tomate de árbol.....	99
<b>Gráfico 17.</b> Tendencia sobrevivencia del café.....	99
<b>Gráfico 18.</b> Tendencia sobrevivencia del tomate de árbol.....	100
<b>Gráfico 19.</b> Tendencia número de hojas del café.....	100
<b>Gráfico 20.</b> Tendencia altura del café .....	100
<b>Gráfico 21.</b> Tendencia altura del tomate de árbol.....	101
<b>Gráfico 22.</b> Tendencia diámetro basal del tomate de árbol.....	101



**TITULO:** EFECTOS ALELOPÁTICOS DE *Alnus nepalensis* D. DON EN CUATRO CULTIVOS AGRÍCOLAS DE IMPORTANCIA SOCIOECONÓMICA EN LA ZONA DE INTAG, NOROCCIDENTE DEL ECUADOR

**Autor:** Guillermo David Varela Jácome

**Director de trabajo de titulación:** Ing. Karla Fernanda Dávila Pantoja, Mgs.

**Año:** 2017

**RESUMEN**

Hace aproximadamente dos décadas *Alnus nepalensis* D. Don fue introducido en la zona de Intag en el noroccidente del Ecuador. Desde ese entonces han sido muy escasos los estudios referentes a la adaptación e interacción de esta especie con los cultivos locales. Los agricultores de la zona han señalado que los cultivos que fueron establecidos cerca de esta especie forestal tienen problemas en su desarrollo, especialmente los individuos que se encuentran creciendo debajo de la misma. Esto ha dado origen a múltiples especulaciones, entre las que se destaca la de la alelopatía de esta especie, la cual fue investigada en el presente estudio. Se planteó investigar los efectos alelopáticos en la germinación y crecimiento inicial de los cuatro cultivos agrícolas de mayor importancia socioeconómica de la zona (*Solanum betaceum* Cav, *Coffea arabica* L, *Zea mays* L y *Phaseolus vulgaris* L) para esto se evaluaron variables como porcentaje de germinación, vigor germinativo, longitud radicular, sobrevivencia, diámetro basal, altura y número de hojas. El estudio se llevó a cabo en dos fases: En el laboratorio se evaluó los efectos de extractos acuosos de la hoja, raíz y corteza de *Alnus nepalensis* sobre la germinación y en el vivero los efectos de sustrato con material vegetal de esta especie forestal sobre el crecimiento inicial de los cultivos. En la fase de vivero se evaluó las variables en el fréjol, maíz y tomate de árbol hasta los tres meses y en el café hasta los seis. En la germinación se evidenciaron efectos alelopáticos mientras que en el crecimiento inicial se evidencio más bien efectos estimulantes. En ambas fases la especie más sensible a estos efectos fue el tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav) y la hoja de *Alnus nepalensis* D. Don fue el material vegetal que más influyó en los cultivos agrícolas.

**TITLE:** ALLELOPATHIC EFFECTS OF *Alnus nepalensis* D. DON ON FOUR CROPS OF SOCIOECONOMIC IMPORTANCE IN THE INTAG AREA, NORTHWESTERN ECUADOR

**Author:** Guillermo David Varela Jácome

**Director of titulation work:** Ing. Karla Fernanda Dávila Pantoja, Mgs.

**Year:** 2017

**ABSTRACT**

About two decades ago *Alnus nepalensis* D. Don was introduced in the Intag zone in the northwestern part of Ecuador. Since then, the studies about the adaptation and interaction of this species with local crops have been very scarce. Farmers in the area have indicated that the crops that were established near this forest species have problems in their development, especially the plants that are growing underneath it. This has caused rise to multiple speculations, one of them is the allelopathy of this species which was investigated in the present research. It was proposed to investigate the allelopathic effects of germination and initial growth on the four agricultural crops of major socioeconomic importance of the zone (*Solanum betaceum* Cav, *Coffea arabica* L, *Zea mays* L and *Phaseolus vulgaris* L), for this, variables were evaluated as percentage of germination, germinative vigor, root length, survival, basal diameter, height and number of leaves. This study was completed out in two phases: The first one in the laboratory, where the effects of aqueous extracts of the leaf, root and bark of *Alnus nepalensis* on germination were evaluated and in the nursery garden it was evaluated the effects of substrate with vegetal material of this forest species on the initial growth of the crops. In nursery garden phase, the variables in the beans, maize and tree tomatoes were evaluated until three months and in the coffee until six months. In germination, allelopathic effects were evidenced, whereas in the initial growth, stimulating effects were evidenced. In both phases the most sensitive species to these effects were the tree tomato (*Solanum betaceum* Cav) and the *Alnus nepalensis* D. Don leaf was the plant material that influenced the most in the agricultural crops.

# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

La alelopatía es un proceso en donde una planta mediante la emisión de metabolitos secundarios influye en el crecimiento y desarrollo de otras especies vegetales. Esta influencia puede ser positiva o negativa (Torres, Oliva, Castellano y Cross, 1996, citados por Lorenzo y Gonzáles 2010).

Varios estudios han demostrado que algunas especies forestales pueden provocar efectos alelopáticos que afectan el desarrollo de ciertas especies vegetales, como las del género *Eucalyptus*. Avila, Murillo, Durango, Torres, Quiñones y Echeverri (2007) demostraron que extractos acuosos de hojarasca de *Eucalyptus robusta* producen efectos alelopáticos en el crecimiento de monocotiledonas como el maíz, arroz y sorgo. Souto, Gonzales y Reigosa (1993) encontraron que extractos acuosos de hojarasca en descomposición de *Eucalyptus globulus* y *Acacia melanoxylon* producen efectos alelopáticos en la germinación de lechuga.

El aliso de Nepal (*Alnus nepalensis* D. Don) es una especie forestal multipropósito, caducifolia o semidecídua que en el año 1995 fue introducida en la zona de Intag, noroccidente del Ecuador (Añazco, com. pers., 24 de noviembre del 2015), y desde esta época ha sido ampliamente distribuida tanto en plantaciones puras como en sistemas agroforestales.

En la zona se han observado que ciertos cultivos que se encuentran cerca de *Alnus nepalensis* presentan problemas en su desarrollo. Los cultivos que crecen debajo de este árbol muestran un menor crecimiento. Los agricultores explican este fenómeno mediante algunas especulaciones, entre las que se destacan la superficialidad de las raíces de la especie, el consumo de agua, la sombra, el agua interceptada y acumulada en su copa que después cae tardíamente sobre los cultivos y la alelopatía.

Según investigaciones como las realizadas por Kumar, Lakiang, & Gopichand (2006) y por Uniyal & Chhetri (2010), el material vegetal de *Alnus nepalensis* D. Don, causa efectos alelopáticos en la germinación de algunas especies, y en Intag al haber sido asociada con cultivos

agrícolas, estos efectos podrían estar presentes e influyendo en el desarrollo de los mismos, situación que actualmente a nivel del país y especialmente en la zona no ha sido investigada.

Entre los cultivos agrícolas de mayor importancia socioeconómica de la zona de Intag están el café, el fréjol, el maíz y el tomate de árbol, siendo el café el principal producto agrícola de exportación. En la parroquia Peñaherrera existen 6,12 hectáreas plantadas con café. En el 2010 se produjeron 6,12 toneladas de las cuales el 50% se exportó y generó un ingreso de 23 598 dólares (PDOT, Peñaherrera, 2015). En cuanto al fréjol, tomate de árbol y maíz, el 90% de la producción de estos cultivos es utilizado para el autoconsumo (PDOT, Peñaherrera, 2015) y el resto es comercializado en mercados de Ibarra y Otavalo.

En el presente estudio fue posible determinar los efectos alelopáticos en la germinación y crecimiento que produce *Alnus nepalensis* D. Don en cuatro cultivos agrícolas (Tomate de árbol, *Solanum betaceum* Cav; Café, *Coffea arabica* L; Maíz, *Zea mays* L y fréjol, *Phaseolus vulgaris* L) de importancia socioeconómica para los agricultores de la zona de Intag, información que determinará si esta especie forestal debería estar asociada con los mismos en sistemas agroforestales, dada la importancia de estos cultivos para los agricultores de la zona.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 General**

Determinar los efectos alelopáticos de *Alnus nepalensis* D. Don en cuatro cultivos agrícolas (*Solanum betaceum* Cav, *Coffea arabica* L, *Zea mays* L y *Phaseolus vulgaris* L).

### **1.1.2 Específicos**

- Evaluar los efectos sobre la germinación en semillas de *Solanum betaceum* Cav, *Coffea arabica* L, *Zea mays* L y *Phaseolus vulgaris* L al ser tratadas con extractos acuosos de *Alnus nepalensis* D. Don.

- Evaluar los efectos en el crecimiento inicial de *Solanum betaceum* Cav, *Coffea arabica* L, *Zea mays* L y *Phaseolus vulgaris* L en sustrato compuesto de material vegetal de *Alnus nepalensis* D. Don.

## **1.2 Hipótesis**

### **1.2.1 Nula**

**Ho:** *Alnus nepalensis* D. Don no produce efectos alelopáticos en ninguno de los cuatro cultivos agrícolas estudiados.

### **1.2.2 Alterna**

**Ha:** *Alnus nepalensis* D. Don produce efectos alelopáticos al menos en uno de los cuatro cultivos agrícolas estudiados.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Fundamentación legal**

##### **2.1.1 Constitución política de la República del Ecuador**

**Art. 13; Sección primera Agua y alimentación; del Capítulo segundo Derechos del buen vivir; TITULO II DERECHOS:** Las personas y colectividades tienen derecho al acceso seguro y permanente a alimentos sanos, suficientes y nutritivos; preferentemente producidos a nivel local y en correspondencia con sus diversas identidades y tradiciones culturales.

El Estado ecuatoriano promoverá la soberanía alimentaria.

**Art. 14; Sección segunda Ambiente sano; del Capítulo segundo Derechos del buen vivir; TITULO II DERECHOS:** Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (Asamblea Nacional Constituyente, 2008, p. 19).

##### **2.1.2 Plan Nacional para el Buen Vivir (2013-2017)**

El presente estudio se enmarcó en los objetivos, políticas y lineamientos estratégicos siguientes:

**a) Objetivo 7:** Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global.

**Política y lineamiento estratégico 7.3:** Consolidar la gestión sostenible de los bosques, enmarcada en el modelo de gobernanza forestal, **literal b.** Incluir esquemas de agroforestería y silvicultura con perspectiva paisajística en los planes de manejo y gestión de los recursos forestales maderables y no maderables (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2013, p. 234).

**b) Objetivo 10:** Impulsar la transformación de la matriz productiva.

**Política y lineamiento estratégico 10.2:** Promover la intensidad tecnológica en la producción primaria, de bienes intermedios y finales, **literal a.** Articular la investigación científica, tecnológica y la educación superior con el sector productivo, para una mejora constante de la productividad y competitividad sistémica, en el marco de las necesidades actuales y futuras del sector productivo y el desarrollo de nuevos conocimientos (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2013, p. 301).

## 2.2 Fundamentación teórica

### 2.2.1 Alelopatía

El término alelopatía proviene de los vocablos griegos *allelon* que significa uno al otro y *pathos* que se traduce como sufrir efecto injurioso (Molisch, 1937, citado por Blanco, 2006).

Torres, Oliva, Castellano y Cross (1996, citados por Lorenzo y Gonzáles 2010), define a la alelopatía como el proceso que implica metabolitos secundarios producidos por una especie vegetal, que influyen en el crecimiento y desarrollo de otras especies vegetales, comprendiendo efectos positivos y negativos. Algunos autores limitan el término alelopatía a los efectos negativos de un compuesto químico producido por una planta superior sobre otra (Muller, 1937, citado por Blanco, 2006).

La alelopatía se da entre especies vegetales de diferente tipo y procedencia, probablemente es menos significativa en comunidades vegetales que hayan coevolucionado a diferencia de

especies nativas y exóticas que evolucionaron en áreas biogeográficas diferentes (Rabotnov, 1974, citado por Lorenzo y Gonzáles, 2010).

De acuerdo con Altieri y Doll (1978, citado por Arévalo, Bertoncini y Aranda 2011), la alelopatía tiene un gran potencial para el manejo de malezas que puede convertirse en una alternativa al uso de herbicidas sintéticos.

Para determinar la existencia de una interacción alopática es necesario establecer cuatro condiciones (Duke, Dayan y Rimando, 1998, citado por Blanco, 2006):

- Demostrar la existencia de interferencias, describir los síntomas y cuantificar el grado de interferencia.
- Aislar, ensayar y caracterizar los aleloquímicos.
- Al aplicar una dosis de aleloquímicos presentes en la naturaleza, los síntomas diagnosticados previamente deben volver a repetirse.
- Demostrar que la dosis es suficiente para explicar la interferencia observada.

La mayoría de estudios realizados en alelopatía evalúan la actividad fitotóxica de las especies donadoras mediante bioensayos en los que se determina la germinación, crecimiento de plántulas y biomasa de especies receptoras, bajo condiciones de laboratorio o invernadero (González, Souto y Regiosa, 1995, citados por Lorenzo y Gonzáles, 2010). Es difícil realizar estos estudios en la naturaleza por sus dificultades metodológicas (Gómez y Canham, 2008, citados por Lorenzo y Gonzáles, 2010).

### ***2.2.1.1 Alelopatía y competencia***

La alelopatía y la competencia son relaciones de interferencia complementarias, más no sinónimos. La competencia se refiere a la reducción de la disponibilidad de un recurso debido a la utilización del mismo por una planta; en donde dicho recurso también es requerido por otra planta cercana (An, Pratley y Haig, 2000, citados por Blanco, 2006), en cambio la alelopatía se



refiere al efecto ocasionado por la liberación de un compuesto químico por parte de una planta y que ejerce efecto sobre otra (Blanco, 2006). Estos efectos pueden ser inhibitorios, estimulantes e incluso autotóxicos (Hernández, Urra, Díaz, Pérez y Hernández, 2013).

### **2.2.1.2 Agentes alelopáticos**

La mayoría de los compuestos liberados por las plantas son metabolitos secundarios que dependiendo de su acción fitotóxica, su concentración bioactiva, su persistencia y destino en el entorno, pueden actuar como compuestos alelopáticos (Hadacek, 2002; Inderjit y Duke, 2003, citados por Lorenzo y Gonzáles, 2010).

En la naturaleza, la actividad alelopática está originada por la acción conjunta de varios aleloquímicos; no así por la acción de uno solo (Inderjit *et al.*, 2003, citado por Lorenzo y Gonzáles, 2010).

Entre los principales grupos de compuestos alelopáticos están: Los fenoles simples, flavonoides, terpenoides, alcaloides, ácidos grasos, poliacetilenos, compuestos sulfurados, oligopéptidos y glucosinolatos (Macías, Galindo y Galindo, 2007; Müller, 2009, citados por Lorenzo y Gonzáles, 2010). Otros compuestos alelopáticos son los derivados del ácido benzoico, taninos, terpenoides, esteroides, glucósidos cianogenéticos, aminoácidos no proteicos, lactonas no saturadas, ácidos orgánicos, alcoholes alifáticos, aldehídos, cetonas, naftoquinonas, antraquinonas, complejos de quinonas y coumarina (Arévalo, Bertoncini y Aranda, 2011).

Existen especies forestales que producen compuestos alelopáticos, como es el caso del Eucalipto. Del Moral y Muller (1969, citados por Poore y Fries 1987) encontraron que *Eucalyptus globulus* exuda ciertas fitotoxinas que afectan el crecimiento de algunas especies de pastos.

Es necesario puntualizar que muchas sustancias con actividad alelopática tienen efectos benéficos a muy bajas concentraciones, superado un determinado umbral, actúan negativamente sobre la planta receptora (Candolle, 1832, citado por Blanco, 2006).

Para que el efecto alelopático se manifieste es necesario que el aleloquímico esté en suficiente cantidad y concentración en el suelo, en contacto directo o interactuar de alguna forma con una planta susceptible (Ives, 2003, citado por Blanco, 2006).

#### *2.2.1.2.1 Liberación de agentes alelopáticos*

##### a) Lixiviación

Es la remoción de sustancias presentes en la planta por efecto de la precipitación. El grado de lixiabilidad depende del tipo de tejido vegetal, la edad de la planta, de la cantidad y naturaleza de la precipitación (Sampietro, 2006). Entre las principales sustancias alelopáticas que se liberan por lixiviación están los carbohidratos, aminoácidos orgánicos, fenoles entre otros compuestos (Maldonado & Encalada, 2008).

##### b) Volatilización

Es un proceso activo, debido a que en este interviene el tejido vivo de la planta emisora (Oliveros, 2008). La liberación de agentes alelopáticos por volatilización es propia de plantas que producen terpenoides. La toxicidad de los compuestos volátiles es prolongada, debido a su adhesión a las partículas del suelo que permite que éstos puedan permanecer varios meses en él (Sampietro, 2006).

##### c) Exudados radiculares

Los exudados radiculares son compuestos orgánicos liberados por plantas sanas (Rovira, 1969, como se citó en Maldonado y Encalada, 2008). La mayoría de compuestos alelopáticos

conocidos son exudados radiculares cuya cantidad y características dependen entre otras cosas de la edad del vegetal, la nutrición, la luz y la humedad a la que esté sometido. Los agentes alelopáticos exudados por las raíces pueden alterar la germinación de las semillas, el crecimiento de raíces y brotes, la incorporación de nutrientes y la nodulación en las especies receptoras (Sampietro, 2006). Este también es un proceso extremadamente activo (Oliveros, 2008).

#### d) Descomposición de residuos vegetales

Durante la descomposición de residuos de una planta se pueden liberar una gran cantidad de agentes alelopáticos, para que esto se dé influyen factores como: La naturaleza del residuo, el tipo de suelo y las condiciones de descomposición (Sampietro, 2006). Es difícil determinar cuáles son estos agentes, ya que éstos pueden ser alterados por microorganismos en el suelo, antes de que ejerzan su acción sobre la planta receptora (Einhellig, 1995, citado por Blanco, 2006) Durante este proceso la liberación de compuestos alelopáticos se da sin intervención de la planta emisora (Oliveros, 2008).

#### ***2.2.1.3 Efectos alelopáticos***

El mecanismo de acción de un compuesto alelopático es difícil de determinar, debido a la diferente naturaleza química de los mismos y a la cantidad en la que se encuentran presentes en la naturaleza en relación a la utilizada en el laboratorio (Blanco, 2006).

La presencia e intensidad de la actividad alelopática depende de diversos factores, tales como: La sensibilidad de la especie receptora, la liberación de la toxina al medio y la actividad e interacciones bióticas y abióticas que ocurren en el suelo con la toxina (Blum, 1992, citado por Blanco, 2006).

Los aleloquímicos en los ecosistemas y agroecosistemas alteran principalmente la germinación y el crecimiento de las plantas receptoras (Rice, 1974, citado por Arévalo *et al.*, 2011). Cabe destacar que los residuos de plantas incorporados al suelo tienen más influencia que

los efectos alelopáticos de las plantas vivas sobre plantas cultivadas (Radosevich y Holt, 1984, citado por Arévalo *et al.*, 2011).

#### 2.2.1.3.1 Germinación

Se entiende por germinación cuando a partir de una semilla se genera una planta capaz de alcanzar la etapa reproductora (Durán y Perez, 1984, citado por Rodríguez, Adam y Durán, 2008). Otra definición es la propuesta por la International Seed Testing Association (ISTA) en el 2003, la cual se refiere a la germinación como un estado en donde se manifiesta la división celular y la diferenciación. Fassio, Carriquiry, Tojo y Romero (1998) definen a la germinación como la serie de procesos que incluyen desde la imbibición o absorción de agua por parte de la semilla, hasta la emergencia de la radícula. Otros autores como Rodríguez *et al.* (2008) señalan que este proceso inicia con la emergencia de la radícula.

La germinación se lleva a cabo cuando el embrión se hincha y la cubierta de la semilla se rompe, para esto deben existir condiciones de temperatura, humedad del sustrato y suficiente disponibilidad de oxígeno y de sales minerales (Saavedra, 2013), caso contrario la semilla permanece en un estado de latencia.

Según Saavedra (2013) se puede diferenciar tres fases durante la germinación:

- Fase de hidratación

Los tejidos absorben agua y se incrementa la actividad respiratoria.

- Fase de germinación

Se reduce la absorción de agua y se dan las transformaciones metabólicas necesarias para el correcto desarrollo de las plántulas.

- Fase de crecimiento

Emerge la radícula y se incrementa la absorción y la actividad respiratoria. A diferencia de las otras dos fases, esta fase se da únicamente en las semillas vivas y es irreversible; es decir después de esta fase la plántula se desarrolla o muere.

Entre los parámetros germinativos más fáciles de cuantificar en el laboratorio están los siguientes:

- a) Poder germinativo (PG)

Algunos autores como Gómez (2004) y Rodríguez *et al.* (2008) definen como potencia germinativa o capacidad de germinación. Se refiere al porcentaje de semillas que germinó en relación a las sembradas y que además desarrolla una plántula normal cuando se coloca en condiciones ambientales óptimas para su crecimiento (Borrajo, 2006). Mediante esta variable se evalúa la rapidez y la uniformidad con que germinan las semillas (Ceballos y López, 2007).

Existen normas como la INASE e INSTA que establecen un protocolo para llevar a cabo el análisis de esta variable en el laboratorio (Borrajo, 2006).

- b) Día de inicio de la germinación (IG)

Se refiere al tiempo que demora desde la siembra, en germinar el 5% de las semillas (Gómez, 2004).

- c) Tiempo medio de germinación (TMG)

Mediante este parámetro se busca calcular la velocidad y dispersión de la germinación a través de la ecuación:

$$TMG = \frac{(T_1N_1 + T_2N_2 + \dots + T_nN_n)}{N}$$

Fuente: Gómez, 2004

Donde:

**T<sub>n</sub>** = número de días transcurridos desde el inicio de la germinación hasta el día n.

**N<sub>n</sub>** = número de semillas germinadas en el día n.

**N** = número total de semillas germinadas.

#### d) Vigor germinativo (VG)

También conocido como energía germinativa, representa la velocidad de germinación y la rapidez de la semilla para desarrollar una plántula normal. Se calcula mediante el índice de Czabator (1962).

Camargo y Vaughar (1973, citado por Criollo; Lagos y Narváez, 2000) señalan que el vigor germinativo de una semilla puede influir en el desarrollo de una planta a lo largo de toda su vida.

#### 2.2.1.3.2 *Crecimiento*

En el crecimiento del árbol intervienen factores como: Las características genéticas de las especies, la semilla y los factores ambientales, dentro de los cuales están: la luz, el clima, el suelo, la topografía, el espacio y las relaciones de interferencia con otras plantas (Bruce, 1965; Flinta, 1960 y Husch, 1963, citados por Anton, 2013).

Según Rosero (2008), los parámetros necesarios a evaluar para determinar el crecimiento inicial son:

a) Altura

Se refiere a la longitud vertical de la planta. Es una variable que puede ser de carácter cualitativo o cuantitativo y se mide de acuerdo al interés que se tenga mediante la utilización de equipos como reglas, hipsómetros, clinómetros, etc. (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

b) Diámetro basal

El diámetro es la longitud de la línea que une dos puntos de la circunferencia pasando por el centro de la misma. Esta variable puede ser utilizada para obtener el área basal y el volumen, generalmente se utiliza para determinar el crecimiento mediante la toma de medidas periódicamente cada cierto tiempo (Mostacedo y Fredericksen, 2000). Se toma a dos centímetros del suelo, con equipos de precisión como el calibrador pío de rey o una cinta diamétrica.

c) Supervivencia

Se refiere al porcentaje de individuos vivos frente a la población inicial.

### 2.2.1.3.3 *Efectos sobre la fotosíntesis*

Algunos bioensayos demostraron que varios ácidos derivados del benzoico y el cinámico, escopoletina y clorogénico en bajas concentraciones son capaces de inhibir la fotosíntesis (Blanco, 2006). Los ácidos ferúlico, vainílico y p-cumárico en especies como la soja reducen el contenido de clorofila. Los ácidos ferúlico, p-cumárico y otros cinámicos en altas concentraciones producen el cierre de los estomas, inhibiendo así la fotosíntesis. Otras sustancias como el alcaloide gramina puede alterar el transporte de electrones (Einhellig, 1995, citado por Blanco, 2006). Otros compuestos que producen efectos alelopáticos sobre la fotosíntesis son la escopoletina, ácido clorogénico y algunos flavonoides los cuales interfieren en la organización funcional y estructural de los cloroplastos (Zuñiga y Ruiz, 2015).

#### *2.2.1.3.4 Efectos sobre la respiración*

Existen compuestos fenólicos que afectan el transporte de electrones y la incorporación mitocondrial de oxígeno, afectando así la respiración celular (Einhellig, 1995, citado por Blanco, 2006), entre estos se destacan quinonas flavonoides, cumarinas y ácidos fenólicos (Zuñiga y Ruiz, 2015).

#### *2.2.1.3.5 Alteraciones hormonales*

Los compuestos fenólicos también afectan la actividad normal de algunas hormonas como las auxinas y las giberelinas. Los ácidos ferúlico, p-cumárico, vainílico, las cumarinas y los taninos inhiben el crecimiento inducido por giberelinas y la acción del ácido abscísico (Blanco, 2006).

#### *2.2.1.3.6 Efectos sobre la actividad enzimática*

Existe un incremento en la síntesis y actividad enzimática cuando sustancias alelopáticas se encuentran en concentraciones bajas y una reducción de estas actividades cuando están presentes en altas concentraciones (Blanco, 2006).

### **2.2.2 La semilla**

La palabra semilla proviene del vocablo latino seminilla (Saavedra, 2013). Es el embrión maduro que está formado por el embrión propiamente dicho, el endospermo y el tegumento (Organero y Gimeno, s.f). Las semillas dependiendo de la especie, pueden permanecer por largos periodos de tiempo en dormancia; que es un estado en el cual las reacciones metabólicas disminuyen dentro de las células de la semilla (Megías, Molist y Pombal, 2015).



### 2.2.2.1 Estructura interna

#### 2.2.2.1.1 Embrión

Se puede considerar como fiel imagen diminuta de la planta (ESPASA, 2003). Se origina de una de las dos células resultantes de la primera división de la célula diploide y está formado por la radícula que se une con el nodo a través del hipocótilo, la plúmula que se une al nodo a través del epicótilo y los cotiledones (Megías, Molist, y Pombal, 2015) (*Ver figura 1*).



Figura 1. Estructura interna del embrión

Fuente: Hispano-3000, 2015

#### 2.2.2.1.2 Endospermo

Tejido que contiene nutrientes de reserva y se encuentra rodeando el embrión (Megías *et al.*, 2015). Puede ser utilizado durante el proceso de desarrollo del embrión o cuando se de el proceso de germinación en sí (Pérez, 2001) (*Ver figura 2*).

### 2.2.2.1.3 Tegumento

Según su consistencia puede ser la testa y el tegmen, la unión de las dos se conoce como epispermo (Megías *et al.*, 2015).

La testa es dura, está cubierta por una cutícula que actúa como una barrera física para el agua, pero es semipermeable a los gases (Megías *et al.*, 2015). Puede presentar algunas modificaciones como pelos, alas, mucilagos, etc., que facilitan la propagación de la semilla (Pérez, 2001).

El tegmen es una capa fina y flexible que suele estar ausente en algunas semillas (Pérez, 2001 y Megías *et al.*, 2015) (Ver figura 2).

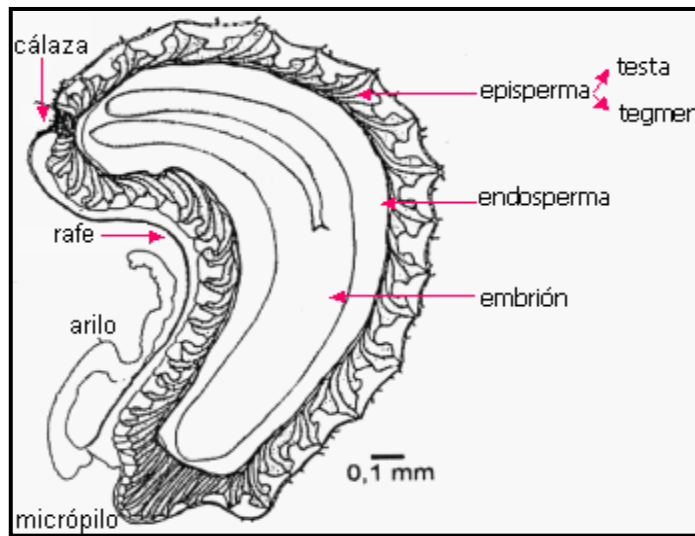


Figura 2. Estructura interna de la semilla

Fuente: Gonzales, 2002

### 2.2.2.2 Clasificación

Las semillas generalmente se clasifican de acuerdo al número de cotiledones que poseen, pero también pueden ser clasificadas según el tipo de germinación y la tolerancia que poseen frente a la desecación.

#### 2.2.2.2.1 *Según el tipo de germinación*

Generalmente el primer órgano que se desarrolla durante la germinación es la radícula; sin embargo existen algunas semillas en donde la germinación inicia con el desarrollo del hipocótilo. Dependiendo del primer órgano en desarrollarse y la posición de los cotiledones de las semillas respecto al sustrato. La germinación puede clasificarse en epigea e hipogea (Saavedra, 2013).

##### a) Epigea

En este tipo de germinación los cotiledones emergen del suelo debido al crecimiento del hipocótilo que es el punto de inserción entre la radícula y los cotiledones, posteriormente se transforman en órganos fotosintéticos actuando como hojas. Finalmente comienza el desarrollo del epicótilo que es la porción de inserción entre los cotiledones y las nuevas hojas (Saavedra, 2013). Este tipo de germinación es común en las gimnospermas y en angiospermas como el fréjol, zapallo, maní, la cevolla, etc. (Nasca, 2008).

##### b) Hipogea

En este tipo de germinación los cotiledones permanecen enterrados en el suelo, únicamente la plúmula sale a la superficie y el hipocótilo es muy pequeño. El epicótilo se alarga formando las primeras hojas verdaderas capaces de realizar la fotosíntesis (Saavedra, 2013). Este tipo de germinación es muy común en los cereales o poáceas (Nasca, 2008).

#### 2.2.2.2.2 *Según la tolerancia a la desecación*

Las semillas pueden clasificarse de acuerdo a su tolerancia a la desecación en ortodoxas y recalcitrantes (Magnitskiy y Plaza, 2007).

a) Semillas ortodoxas

La principal característica de las semillas ortodoxas es su gran tolerancia a la deshidratación, toleran hasta una deshidratación del 5% en el contenido de humedad (Farrant, Pammenter y Berjak, 1993; Gentil, 2001, citado por Magnitskiy y Plaza, 2007). Muchas de estas semillas se desecan naturalmente en la planta y pueden ser almacenadas durante largos periodos de tiempo en condiciones de bajo contenido de humedad y temperatura (Stubsgaard, 1997).

b) Semillas recalcitrantes

Las semillas recalcitrantes toleran una deshidratación de entre 30 y 50% de contenido de humedad (Farrant *et al.*, 1993; Gentil, 2001, citados por Magnitskiy y Plaza, 2007). Si las condiciones de humedad y temperatura se sitúan por debajo de un determinado rango, estas semillas mueren por lo que es difícil almacenarlas por más de algunas semanas o meses (Stubsgaard, 1997).

### **2.2.2.3 Viabilidad**

Se refiere al potencial de germinación que puede contener un lote de semillas (Ceballos y López, 2007) o al porcentaje de semillas que se encuentran vivas en comparación con el total de semillas de la muestra (Borrajo, 2006).

El mejor método para comprobar la viabilidad de la semilla, es en el campo; sin embargo este proceso demora demasiado tiempo, por tal motivo es necesario la utilización de métodos indirectos (Poulsen, 2000).

#### **2.2.2.3.1 Prueba de corte**

Es el método más simple para determinar la viabilidad de una semilla aunque tiende a sobrestimar la misma (Poulsen, 2000). Para llevarlo a cabo se corta la semilla con la ayuda de un

cuchillo o un bisturí y se observa que el endospermo tenga un color normal y el embrión este desarrollado de forma adecuada (Willian, 2001).

#### *2.2.2.3.2 Prueba de topográfica tetrazolium*

Es un metodo utilizado especiamete para determinar la viabilidad de semillas en dormición o con baja velocidad de germinación. Es rápido y no necesita de equipos muy sofisticados. (Perez y Pita, 2016). Consiste en la utilización de 2,3,5-trifeniltetrazolium, el cual reacciona con el ion hidrógeno en las partes vivas de la semilla, dándole a estas una coloración roja. Las semillas se sumergen en una disolución de este compuesto por entre 6 y 24 horas, dependiendo del tipo de semillas, a una temperatura de entre 25 y 30°C. Es importante que esta solución no este en contacto directo con la luz pues se vuelve bastante inestable (Poulsen, 2000).

#### *2.2.2.3.3 Método de peróxido de hidrógeno*

Es un método fácil y rápido para determinar la viabilidad de la semilla. Se sumergen las semillas durante un día en una solución al 1% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, después se corta la cubierta seminal para revelar el extremo radicular, se sumerge la semillas en otra solución al 1% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> durante tres días, se coloca el ensayo en la oscuridad a una temperatura de entre 20 - 30 °C y finalmente se cuenta las semillas con mejor crecimiento de acuerdo a la longitud de su radícula. La prueba concluye a los siete u ocho días (Poulsen, 2000) y (Willian, 2001). Este ensayo es mas facil de realizar que el de separación del embrión y más facil de interpretar que el de tetrazodio (Willian, 2001).

#### *2.2.2.3.4 Prueba de separación del embrión*

Es un método utilizado principalmente para estimar la viabilidad de semillas que tardan mucho tiempo en germinar (Poulsen, 2000). Consiste en remojar las semillas de uno a cuatro días para posteriormente separar el embrión e incubarlos sobre papel filtro en cajas petri a una

temperatura de 20 °C por 14 días. Al igual que en la prueba de Tetrazodio los resultados dependen de las aptitudes y experiencia de quien realice el ensayo (Willian, 2001).

#### 2.2.2.3.5 *Pruebas de rayos x*

Es un método rápido y no destructivo que demanda un elevado costo y es utilizado especialmente en semillas forestales. Permite observar el estado en el que se encuentra el embrión (Perez y Pita, 2016). Para una mejor interpretación de los resultados se utiliza BaCl o cloroformo que ingresa únicamente en las partes más dañadas de la semilla, haciendo que éstas se vean más claras en la radiografía (Poulsen, 2000).

### **2.2.3 Descripción de las especies**

#### **2.2.3.1 *Aliso (Alnus nepalensis D. Don)***

##### *2.2.3.1.1 Taxonomía*

Familia: Betulaceae

Género: Alnus

##### *2.2.3.1.2 Descripción botánica*

Es una especie caducifolia que alcanza hasta 30 m de altura y 60 cm de DAP (Imbaquingo y Naranjo, 2010).

- a) Corteza: Verde oscuro o gris, con líneas de lenticelas horizontales ligeramente levantadas.
- b) Hojas: Alternas, elípticas, ovadas u oblongas 6 – 20 cm de largo y de 5 – 10 cm de ancho.
- c) Inflorescencia: Un amento

d) Fruto: Marrón oscuro compuesto de varias escamas de textura leñosa (Duke, 1983, citado por Castillo, 2012) y (Orwa, Kindt, Jamnadass & Anthony, 2009) (Ver figura 3).

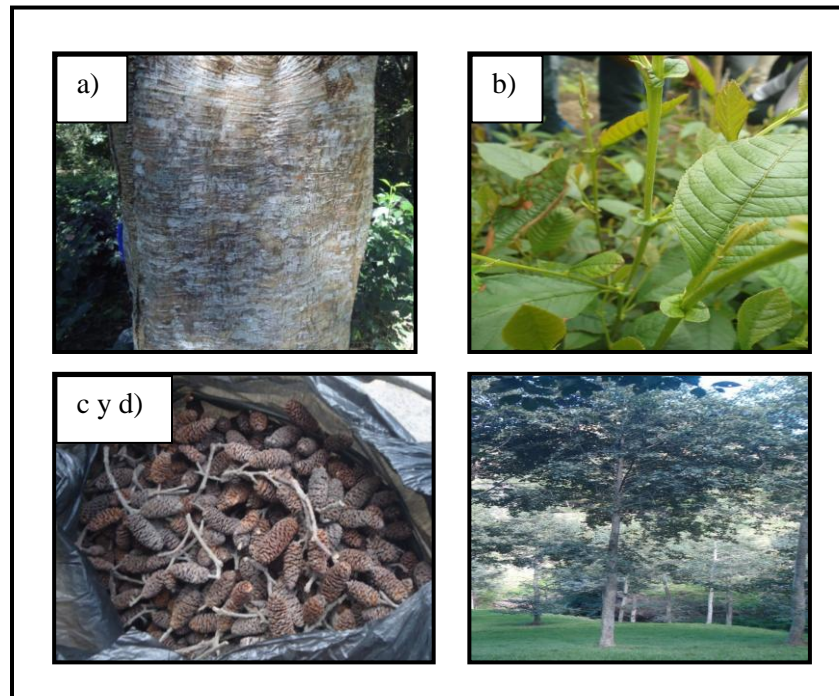


Figura 3. Estructuras botánicas del aliso

Elaborado por: Guillermo David Varela Jácome

#### 2.2.3.1.3 Ecología

*Alnus nepalensis* crece a lo largo de toda la cordillera del Himalaya entre los 500 – 3 000 msnm en sitios con una precipitación anual de entre 500 – 2 500 mm, con 4 a 8 meses de lluvia y una estación seca (Duke, 1983, citado por Castillo, 2012), tolera la sombra y se adapta a zonas con altas precipitaciones o con estaciones secas prolongadas (Orwa *et al.*, 2009). Esta especie ha sido introducida en países tropicales de África, Asia y América (Joker, 2000, citado por Mediavilla, 2016).

#### 2.2.3.1.4 *Germinación y crecimiento*

*Alnus nepalensis* tiene una semilla ortodoxa que se recoge entre los meses de noviembre y marzo, puede ser almacenada hasta por 15 meses y no requiere de un tratamiento pre germinativo (Orwa *et al.*, 2009).

La germinación de esta especie comienza entre una y dos semanas después de la siembra. A las cuatro o cinco semanas las plantas están listas para ser trasplantadas en fundas de polietileno en las cuales pueden permanecer cuatro a 11 meses hasta ser trasladadas a la plantación definitiva (Napier, 1989, citado por Castillo, 2012).

Esta especie tiene un incremento medio anual de entre 2 y 4 cm de DAP y 5cm de altura (Orwa *et al.*, 2009) y (Castillo, 2012). Las plántulas por debajo de los 1 200 msnm. puede alcanzar una altura de entre 25 y 35 cm en cuatro o cinco meses, pero a una elevación superior les puede tomar hasta 11 meses alcanzar esta cifra (Imbaquingo y Naranjo, 2010).

#### 2.2.3.2 *Café (Coffea arabica L.)*

##### 2.2.3.2.1 *Taxonomía*

Familia: Rubiaceae

Género: Coffea

##### 2.2.3.2.2 *Descripción botánica*

Puede alcanzar los 10 m de altura.

- a) Hojas: Opuestas, glabras, de color verde brillante y de alrededor de 45 cm de longitud.
- b) Flores: Axilares, en racimos densos, de color blanco, de aproximadamente 20 mm de longitud.



c) Fruto: Drupa ovalada de hasta 18 mm de longitud y 15 mm de ancho que contiene dos semillas (Clarke y Macrae, 1985, citado por Temis, Lopez, y Sosa, 2011) y (Orwa *et al.*, 2009) (Ver figura 4).

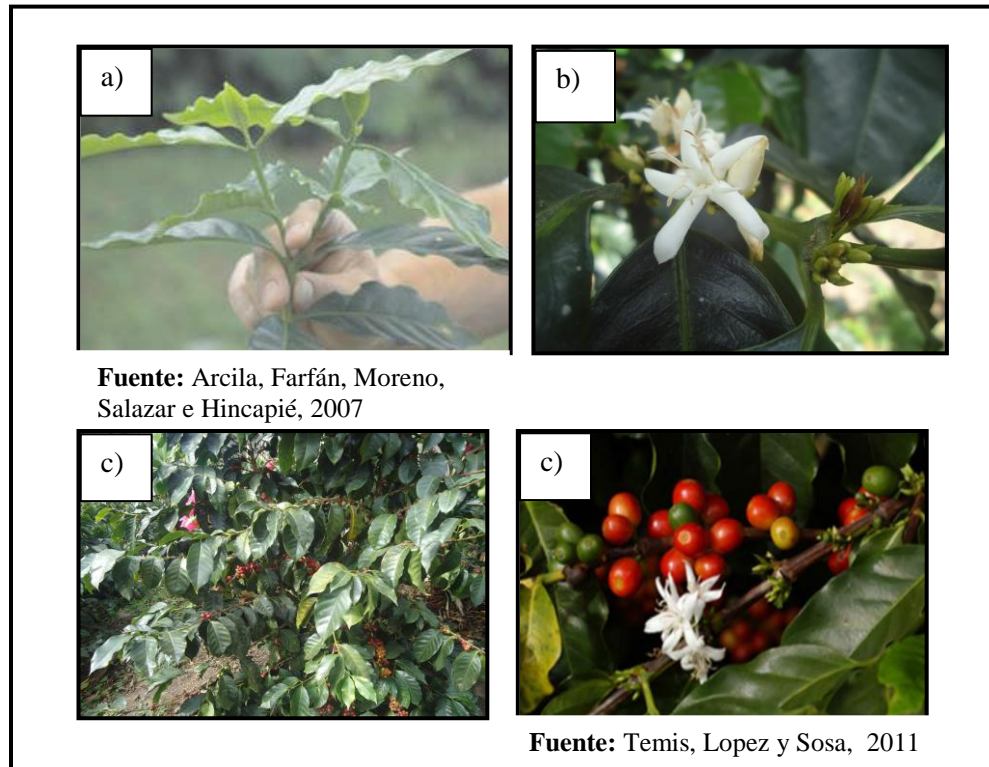


Figura 4. Estructuras botánicas del café

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

### 2.2.3.2.3 Ecología

Es una especie originaria de África cuyo nombre deriva de la ciudad Kaffa en Kenia (Temis *et al.*, 2011). Se encuentra distribuida en climas tropicales con temperatura de entre 17 y 26°C y con precipitaciones de entre 1 200 y 2 600 mm anuales.

#### 2.2.3.2.4 *Germinación y crecimiento*

El café tiene germinación epigea, durante la primera semana se completa la inhibición, a la tercera brota la raíz y esta aparece curvada, a las siete semanas cerca del 90% de los hipocótilos emergen del suelo en estado de fósforo y a las nueve empieza a aparecer el primer par de hojas verdaderas. Cuando la planta tiene seis pares de hojas, aproximadamente entre los cinco y seis meses después de la siembra, pasa a la plantación definitiva (IHCAFÉ, 2001, citado por Altamirano, 2012). A los seis a siete meses empieza la formación de ramas principales. La etapa reproductiva de café inicia al año de edad y dura cerca de 4 meses; mientras que los frutos después de la floración demoran en madurar aproximadamente 32 semanas (Altamirano, 2012).

Las plantas de café producen sus primeros frutos al año de edad y pueden seguirlo haciendo hasta los 25 años; sin embargo la mayor producción se da entre los seis y ochos años de edad (Arcila, Farfán, Moreno, Salazar e Hincapié, 2007).

#### 2.2.3.3 *Fréjol (Phaseolus vulgaris L.)*

##### 2.2.3.3.1 *Taxonomía*

Familia: Fabaceae

Género: Phaseolus

##### 2.2.3.3.2 *Descripción botánica*

Es una especie anual, herbácea, arbustiva cuyo tallo puede presentar un hábito de crecimiento erecto, semierecto, semipostrado o postrado que alcanza entre 0,30 a hasta los 2 m de altura.

- a) Hojas: Trifolioladas, cuyo foliolo central es simétrico y los laterales asimétricos.
- b) Inflorescencia: Racimos axilares.
- c) Flor: Hermafrodita cuya corola varía entre blanca y morada.

d) Fruto: Una vaina que varía en cuanto al tamaño, número y color de semillas de acuerdo a la variedad (Valladares, 2010) (Ver figura 5).

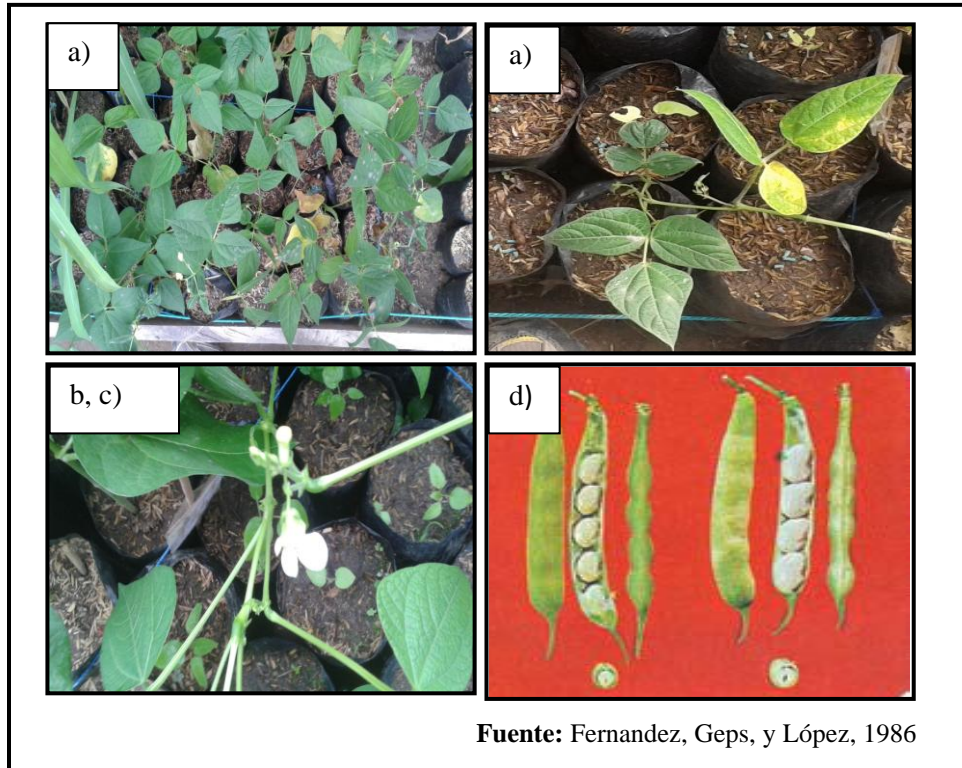


Figura 5. Estructuras botánicas del fréjol  
Elaborado por: Guillermo David Varela Jácome

### 2.2.3.3.3 Ecología

El fréjol es una especie probablemente originaria de México, donde se domesticó hace aproximadamente 50 000 años antes de Cristo (Ulloa, Rosas, Ramírez y Ulloa, 2011). En el Ecuador, el fréjol se cultiva entre los 20 y 2 800 m de altitud. (Murillo, 1998, Falconí, 2005 y Peralta *et al.*, 2005, citados por Peralta, Mazón, Murillo y Pinzón, 2012).

#### 2.2.3.3.4 Germinación y crecimiento

El fréjol tiene germinación epigea (Meza, Lépiz, López y Morales, 2015). La semilla absorbe agua, se hincha, posteriormente emerge la radícula, crece el hipocótilo y se observan los cotiledones sobre la superficie del suelo, más tarde el hepocótilo se endereza y las hojas primarias crecen y se despliegan. Tiempo después las hojas primarias dan paso a las hojas trifolioladas definitivas.

En la fase reproductiva del fréjol también se distinguen cinco etapas: La prefloración, donde aparecen los primeros botones y racimos florales; la floración, donde se abre la primera flor; la formación de vainas, donde la corola se marchita y se da el apareamiento de por lo menos una vaina; el llenado de la primera vaina con las semillas, donde se llena y se da la maduración, donde la vaina cambia de color verde a amarillo (Fernandez *et al.*, 1986).

#### 2.2.3.4 Maíz (*Zea mays L.*)

##### 2.2.3.4.1 Taxonomía

Familia: Poaceae

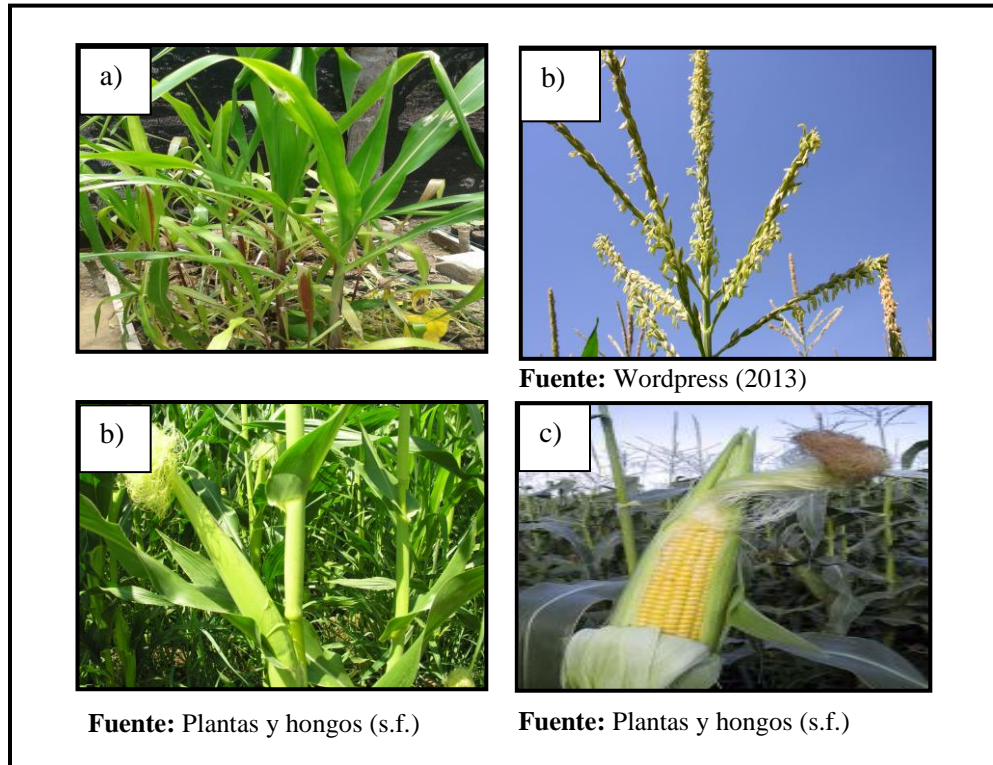
Género: Zea

##### 2.2.3.4.2 Descripción botánica

Es una especie monocotiledónea, alcanza entre los 2 y 6 metros de altura.

- a) Hojas: Alternas, lanceoladas y acuminadas con pequeñas lígulas.
- b) Inflorescencia: Las inflorescencias femeninas son espigas cilíndricas axilares con un raquis central en donde se insertan las espiguillas; cada una de las cuales posee dos flores, una fértil y una abortiva. La inflorescencia masculina es una espiga que se encuentra en el ápice de la planta.

c) Fruto: El fruto es indehisciente y se encuentra unido a la espiga por una estructura cónica (Paliwal, 2001; Ecocrop, 2007; Kato, 2009; Clayton, 2006; Tapia y Fries, 2007 y FAO, 1993, citados por Sánchez, 2014) (*Ver figura 6*).



*Figura 6.* Estructuras botánicas del maíz

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

#### 2.2.3.4.3 *Ecología*

Es una especie cosmopolita, presente en todos los continentes a excepción de la Antártica. El origen del maíz probablemente se remonta a México hace 7 000 años a partir de una mutación de una especie silvestre perteneciente al género Teosinte (Grupo Semillas, 2012, citado por Guacho, 2014). En el Ecuador existen estudios que señalan que esta especie era cultivada desde hace 6 500 años, en la península de Santa Elena, por los antiguos habitantes pertenecientes a la cultura “Las Vegas” (Yanez, 2010, citado por Guacho, 20014).

#### 2.2.3.4.4 *Germinación y crecimiento*

El maíz tiene germinación hipogea (Saavedra, 2013), la cual inicia con la inhibición de la semilla hasta la emergencia de la radícula (Bewley y Black, 1994, citado por Fassio *et al.*, 1998). Posterior a eso se empiezan a desplegar paulatinamente las hojas hasta antes de que se dé el pajonamiento (Ritchie, Hanway y Benson, 1986, citados por Fassio *et al.*, 1998). Esto tiene lugar hasta dos días antes de que se dé la emergencia de las barbas.

El estadio reproductivo del maíz consta de seis etapas, las cuales describen el desarrollo del grano desde la emergencia de las barbas hasta que los granos alcancen su máximo tamaño y la máxima acumulación de materia seca (Fassio *et al.*, 1998).

#### 2.2.3.5 *Tomate de árbol (Solanum betaceum Cav.)*

##### 2.2.3.5.1 *Taxonomía*

Familia: Solanaceae

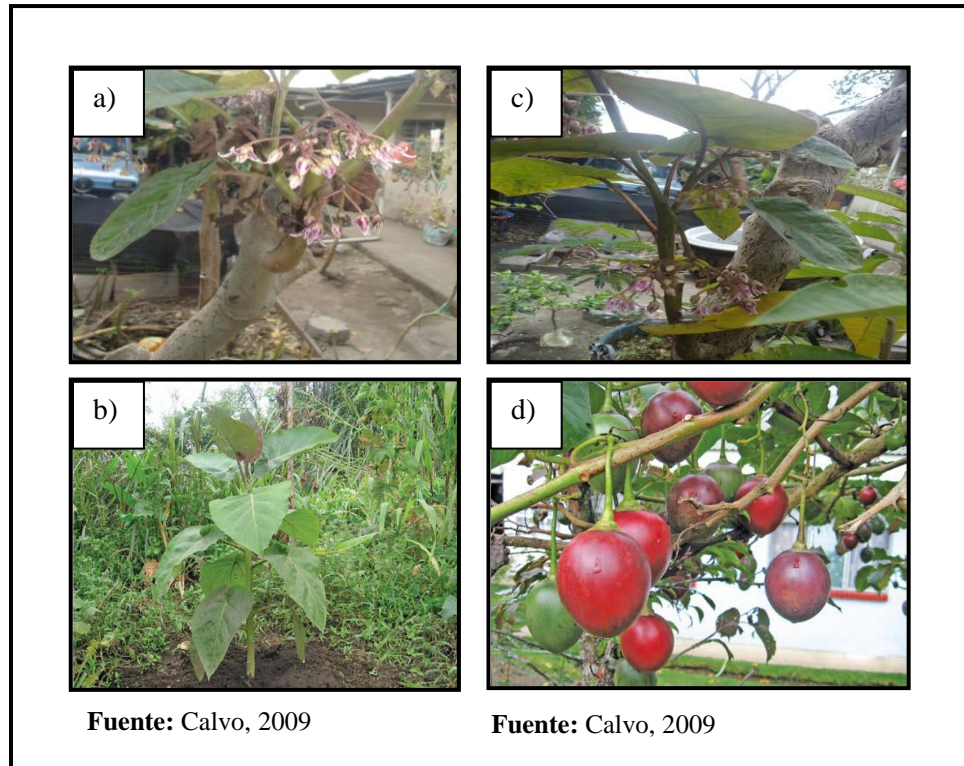
Género: Solanum

##### 2.2.3.5.2 *Descripción botánica*

Esta especie puede vivir de entre 5 a 12 años. Su sistema radicular es superficial y no muy extenso.

- a) Tallo: Es semileñoso y puede alcanzar los cuatro metros de altura. (Calvo, 2009).
- b) Hojas: Simples, alternas, de forma ovada y ápice agudo, con pubescencia más densa en el envés. Pueden alcanzar entre 25 y 40 cm de longitud y de 20 a 35 cm de ancho, su base es cordada (Bohs, 1984; Prohens y Nuez, 2000, citados por Acosta, 2011).
- c) Inflorescencia: Una cima escorpioide, con flores actinomorfas pentámeras, corola de color rosácea de hasta 1,5 cm (Lewis y Considine, 1999; Bohs, 1994, citados por Acosta, 2011).

d) Fruto: Una baya de forma ovoide, con ápice agudo u obtuso. Su tamaño oscila entre 4 y 10 cm de longitud y de 3 a 5 cm de diámetro (Morton, 1982; Bohs, 1989; Sanchez y Vega, 1992, citados por Acosta, 2011) (*Ver figura 7*).



*Figura 7.* Estructuras botánicas del tomate de árbol

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

### 2.2.3.5.3 *Ecología*

Es una especie originaria de la región andina, posiblemente de Bolivia; aunque hoy en día es cultivada en algunos países de Europa y Oceanía (Bohs, 1991, citado por Acosta, 2011).

#### 2.2.3.5.4 *Germinación y crecimiento*

La semilla germina a las tres semanas después de la siembra, a la cuarta tiene dos hojas y está lista para el repique (Revelo, Pérez y Maila, 2004).

La etapa vegetativa dura de entre seis a ocho meses y va desde la siembra hasta la floración (Ovando, 2012).

La etapa reproductiva empieza con el inicio de la floración, este proceso dura de entre siete y 14 meses. La fructificación inicia con la fecundación de las primeras flores y concluye con la formación y maduración de los frutos. Esta etapa puede durar entre 21 y 28 semanas. (Bernal, 2003, citado por Ovando, 2012).

### **2.2.4 Importancia económica de las especies agrícolas estudiadas**

El 90% de la población de la parroquia Peñaherrera ubicada en la zona de Intag se dedica a la agricultura y silvicultura. El principal producto agrícola de exportación es el café, el cual es exportado por la Asociación de Caficultores Río Intag (AACRI) que cuenta con 79 socios. En la parroquia existen 6,12 hectáreas de café plantadas. En el 2010 se produjeron 6,12 toneladas de las cuales el 50% se exportó y generó un ingreso de 23 598 dólares (PDOT, Peñaherrera, 2015).

Otros productos agrícolas importantes en la zona son: El fréjol, el tomate de árbol y el maíz. El 90% de la producción de los cultivos mencionados es utilizado para el autoconsumo (PDOT, Peñaherrera, 2015). Se desconoce la extensión que ocupan estos cultivos en la parroquia; sin embargo a nivel cantonal el cultivo de estos productos se distribuye a lo largo de 1 680 hectáreas de la siguiente manera: 196 hectáreas de tomate de árbol, 1 277 hectáreas de fréjol y 207 hectáreas de maíz (PDOT, Cotacachi, 2015).



## **2.2.5 Investigaciones realizadas**

### ***2.2.5.1 An Assessment of Phytotoxic Potential of Promising Agroforestry Trees on Germination and Growth Pattern of Traditional Field Crops of Sikkim Himalaya, India***

Uniyal & Chhetri ( 2010), encontraron que extractos acuosos (disolución de material vegetal de una especie vegetal en agua destilada) de hojarasca de *Alnus nepalensis* al 1, 2 y 5 % de concentración produce efectos alelopáticos en especies como el trigo, el mijo, la mostaza y la arveja. La concentración al 5% fue la que mayores efectos alelopáticos presentó. En dicho ensayo el porcentaje de germinación, al ser tratadas las semillas con extractos acuosos de hoja de *Alnus nepalensis* se redujo en un 89,63% en la mostaza, 74,48% en el trigo, 87,43% en el mijo y 62,17% en la arveja. También se encontró que los extractos acuosos de corteza de *Alnus nepalensis* reduce la germinación del mijo en un 34,42%.

### ***2.2.5.2 Phytotoxic effects of agroforestry tree crops on germination and radicle growth of some food crops of Mizoram***

Kumar, Lakiang & Gopichand (2006), demostraron que extractos acuosos de *Alnus nepalensis* producen efectos alelopáticos en la germinación y el crecimiento radicular de la arveja. También encontraron que estos extractos afectan el crecimiento radicular del arroz y del fréjol. En este ensayo utilizaron extractos acuosos de *Alnus nepalensis* en concentraciones del 1 y 2% obteniendo mayores efectos con la mayor concentración. Entre los resultados obtenidos se destaca que la arveja redujo su porcentaje de germinación en un 88,37% y su crecimiento radicular en un 27,47%. El fréjol redujo su crecimiento radicular en un 27,82% y el arroz en un 30,96%.

### **2.2.5.3 Efectos alelopáticos sobre los cultivos agrícolas a evaluarse**

No se han realizado muchos estudios acerca de especies que podrían producir efectos alelopáticos sobre el café; sin embargo existen algunos estudios acerca de la cafeína, su actividad alelopática e incluso autotóxica (Pacheco y Pohlan, 2007). Maniega, Molero, Perea y Pérez (2009), demostraron que la cafeína produce efectos alelopáticos en el crecimiento del tallo y las raíces de trigo y lenteja.

Existen varias especies vegetales que causan efectos alelopáticos sobre el fréjol y el maíz. Jarma, Angulo, Jaramillo y Hernandez (2004) encontraron que extractos de *Cyperus rotundus* afecta al crecimiento en altura de estos cultivos. Blanco, Hernández, Urra y Leyva (2008), determinaron que extractos acuosos de girasol, maíz, camote y del propio fréjol producen efectos alelopáticos en la germinación, sobrevivencia y crecimiento del tallo del fréjol. Finalmente Avila *et al.* (2007), encontró que extractos de *Eucalyptus robusta* provocan que el crecimiento del maíz se retrase en un 70%.

En cuanto al tomate de árbol, Criollo, Lagos y Narváez (2000) encontraron que extractos radicales y foliares de Eucalipto y Porotón (*Erythrina edulis*) afectan el vigor germinativo de esta especie y que la incorporación de material vegetal obtenido de hojarasca de eucalipto y laurel de cera (*Myrica pubescens*) afectan la velocidad de crecimiento de la planta en invernadero.

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Ubicación del sitio**

El estudio se desarrolló en dos fases: laboratorio y campo.

##### **3.1.1 Política**

###### ***3.1.1.1 Fase de laboratorio***

Se realizó en el Laboratorio de Biotecnología Vegetal, localizado en la Universidad Técnica del Norte.

###### ***3.1.1.2 Fase de campo***

Se realizó en la finca San José de La Palma, sector El Paraíso, parroquia Peñaherrera, cantón Santa Ana de Cotacachi, ubicado a 113 km del cantón San Miguel de Ibarra, provincia de Imbabura (*Ver figura 10 - anexo I*).

##### **3.1.2 Geográfica**

La finca San José de La Palma se encuentra ubicada a  $78^{\circ} 31' 56''$  longitud W,  $00^{\circ} 21' 23''$  de latitud N, a 1 730 m.s.n.m.

##### **3.1.3 Límites**

La finca San José de La Palma limita, al noreste con la propiedad del señor José Haro, al sur con la quebrada de La Palma y al oeste con la quebrada Del Diablo.

## **3.2 Datos climáticos**

La temperatura media anual del sitio es 17 °C y la precipitación media anual 1 284,6 mm, el mes más lluvioso es abril, mientras que el de menor precipitación agosto (PDOT Peñaherrera, 2015).

## **3.3 Materiales, equipos e insumos**

### **3.3.1 Materiales**

#### ***3.3.1.1 Fase de laboratorio***

- Agua doblemente destilada.
- Papel absorbente.
- Cajas Petri.
- Pipetas.
- Bisturí.
- Papel filtro.
- Vestimenta de seguridad.
- Útiles de escritorio.

#### ***3.3.1.2 Fase de campo***

- Postes de madera.
- Fundas de polietileno de 6 x 8 pulgadas.
- Sarán.
- Plástico para invernadero.
- Cinta métrica.

### **3.3.2 Equipos**

- Molino mecánico.
- Calibrador pie de rey digital.
- Balanza.
- Computador.

### **3.3.3 Insumos**

- Sal de tetrazolium.
- Hojas, raíces y corteza de *Alnus nepalensis*.
- Semillas de *Solanum betaceum*, *Coffea arabica*, *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris*.
- Arena.
- Tierra del sitio.
- Cascarilla de arroz.

## **3.4 Metodología**

### **3.4.1 Evaluación de los efectos alelopáticos en la germinación (fase de laboratorio)**

La evaluación de los efectos alelopáticos sobre la germinación se llevó a cabo en el laboratorio.

#### ***3.4.1.1 Manejo estadístico del experimento***

##### ***3.4.1.1.1 Variables evaluadas***

Las variables que se evaluaron fueron:

- Porcentaje de germinación.

- Vigor germinativo.
- Longitud radicular.

#### 3.4.1.1.2 *Diseño experimental*

Se utilizó el Diseño Irrestricto al Azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones por cada especie, debido a que las características fisiológicas y de desarrollo de estas no permitieron hacer comparaciones entre las mismas.

#### 3.4.1.1.3 *Tratamientos*

##### a) Codificación

Se establecieron, 16 tratamientos, cuatro por cada especie, cada uno con su respectivo código (Ver tabla 1).

**Tabla 1**

*Tratamientos*

Codificación	Tratamiento	
	N°	Nombre
TRC	1	Raíces de aliso con café
THC	2	Hojarasca de aliso con café
TCC	3	Corteza de aliso con café
TTC	4	Tratamiento testigo del café
TRT	5	Raíces de aliso con tomate de árbol
THT	6	Hojarasca de aliso con tomate de árbol
TCT	7	Corteza de aliso con tomate de árbol
TTT	8	Tratamiento testigo del tomate de árbol
TRF	9	Raíces de aliso con fréjol
THF	10	Hojarasca de aliso con fréjol
TCF	11	Corteza de aliso con fréjol

Continuación.../...

TTF	12	Tratamiento testigo del fréjol
TRM	13	Raíces de aliso con maíz
THM	14	Hojarasca de aliso con maíz
TCM	15	Corteza de aliso con maíz
TTM	16	Tratamiento testigo del maíz

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

### b) Distribución

La distribución de los tratamientos en cada repetición se puede observar a continuación en la figura 8.

Repetición 1				Repetición 2				Repetición 3				Repetición 4			
T7	T15	T8	T4	T14	T1	T9	T11	T4	T12	T3	T10	T11	T2	T6	T14
T1	T5	T11	T6	T3	T12	T4	T6	T7	T9	T14	T5	T8	T16	T12	T1
T12	T13	T2	T14	T10	T15	T7	T16	T2	T16	T11	T8	T5	T10	T3	T9
T3	T9	T16	T10	T8	T5	T13	T2	T6	T13	T1	T15	T7	T4	T15	T13

*Figura 8.* Distribución de los tratamientos en el laboratorio

**Nota:** T4, T8, T12 y T16 son los tratamientos testigos

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

#### 3.4.1.1.4 Características del experimento

El experimento tuvo las características que se indican a continuación en la tabla 2.

**Tabla 2***Características del experimento*

<b>Características</b>	<b>Cantidad</b>
Número de tratamientos por experimento (por especie)	4
Número de repeticiones	4
Número de unidades experimentales	16
Semillas por unidad experimental	20
Número de semillas por tratamiento	80
Número de semillas totales por especie	320

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

### 3.4.1.1.5 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó la ecuación 1, que corresponde al modelo estadístico del diseño irrestricto al azar.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ijk}$$

Ec. (1)

**Fuente:** Aguirre y Vizcaíno, 2010

Donde:

 $Y_{ij}$  = Observación individual $\mu$  = Media $\tau_i$  = Efecto del tratamiento $\varepsilon_{ij}$  = Error experimental

Para comparar las diferencias entre los tratamientos se utilizó la prueba de Duncan al 5%, aplicando el ADEVA que se puede observar en la tabla 3.



**Tabla 3***Esquema ADEVA*

<b>FV</b>	<b>Gl</b>
Tratamiento	$t-1 = 4-1 = 3$
Error	$t(n-1) = 4(4-1) = 12$
Total	$tn-1 = (4 \times 4) - 1 = 15$

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

### 3.4.1.2 *Manejo específico del experimento*

#### 3.4.1.2.1. *Obtención del material vegetal de *Alnus nepalensis**

##### a) *Recolección*

El material vegetal (hojas, corteza y raíz) se colectó de árboles entre 5 a 10 años de edad, de un sistema de árboles en linderos ubicado en la carretera que conecta el centro poblado con la comunidad El Paraíso y de una plantación ubicada en la comunidad El Cristal de la parroquia Peñaherrera.

##### b) *Transporte, secado y molido*

Una vez recolectado el material, se colocó en fundas plásticas y se llevó al sitio donde se realizó la fase de campo, aquí se hizo secar al ambiente durante tres semanas y posteriormente se procedió a moler en un molino mecánico.

#### 3.4.1.2.2. *Adquisición y selección de la semilla de los cultivos*

Las semillas de maíz, fréjol y café se adquirieron directamente a los agricultores; mientras que las de tomate de árbol se obtuvieron de frutos maduros, a las cuales se las limpió y se las hizo secar a la sombra.

Posteriormente para conocer la viabilidad de las semillas adquiridas por especie, se realizó la prueba de germinación de tetrazolium, que consistió en el proceso adaptado de la metodología propuesta por la Universidad Nacional del Nordeste de Argentina UNNE detallado a continuación:

##### a) Preparación de la solución

Se disolvió 4 gr de tetrazolium en 400 ml de agua bidestilada, para obtener una concentración al 1% con un pH de 6.

##### b) Preparación de cajas Petri

Se utilizaron cuatro cajas Petri para cada especie, con 25 semillas en cada una, mismas que fueron lavadas y preparadas con dos capas de papel absorbente, para luego ser esterilizadas en una estufa.

##### c) Preparación de las semillas

- Las semillas de fréjol y maíz fueron ablandadas con agua bidestilada por 24 horas y las de tomate y café por 72 horas. Previo al ablandamiento del café se retiró la envoltura de la semilla.
- Las semillas de maíz después de ser ablandadas fueron seccionadas transversalmente.

d) Establecimiento de la prueba

- Se colocó 5 ml de la disolución en cada caja Petri.
- Las cajas con las semillas de fréjol y maíz se colocaron en la estufa a 32 °C por cuatro horas, mientras que las que contenían semillas de café y tomate se colocaron a la sombra por 24 horas.
- El porcentaje de viabilidad se obtuvo contando el número de semillas cuyos embriones tuvieron una coloración roja.

3.4.1.2.3. *Preparación de extractos acuosos*

Se pesó en una balanza electrónica 2 gr del material vegetal de hojas, corteza y raíz de *Alnus nepalensis*, para luego ser disuelto en 100 ml de agua bidestilada, obteniendo así extractos acuosos al 2% de concentración. Finalmente se dejó descansar las mezclas a temperatura ambiente por 24 horas.

Los extractos se filtraron con tres capas de papel filtro y se almacenaron en un lugar oscuro a una temperatura de entre 6 a 10°C.

3.4.1.2.4. *Establecimiento del ensayo*

La metodología fue adaptada de Gómez (2004); Uniyal & Chhetri (2010) y Kumar, Lakiang & Gopichand (2006).

a) Las cajas Petri donde se colocaron las semillas fueron lavadas y preparadas con dos capas de papel absorbente, para luego ser esterilizadas en una estufa.

b) En cada caja Petri se colocó 20 semillas por especie, saturadas con 5 ml de los extractos acuosos, y para mantener la humedad se agregó 1 ml durante los diez días que duró el ensayo. Cada caja Petri representó una repetición.

Las cajas de los tratamientos testigos se humedecieron únicamente con agua bidestilada.

#### 3.4.1.2.5. Evaluación de las variables

##### a) Determinación del porcentaje de germinación

Este porcentaje se determinó basándose en los parámetros establecidos por ISTA citado por Rodríguez *et al.* (2008). Se inició con la toma de datos cuando el 5% de las semillas del tratamiento testigo germinaron, considerando a una semilla germinada cuando la radícula de la misma alcanzó por lo menos los 3 mm de longitud. Posteriormente se contabilizó el número de semillas germinadas diariamente, desde el día de inicio de la germinación hasta que no se observaron incrementos en el número de semillas con emisión de radícula. Este valor se dividió por el número total de semillas utilizadas en el ensayo y se multiplicó por 100 como se muestra en la ecuación 2:

$$PG = \frac{Sg}{Ss} \times 100\%$$

Ec. (2)

**Fuente:** Gómez, 2004

Donde:

**Sg** = Semillas con emisión de radícula.

**Ss** = Total de semillas analizadas.

*b) Determinación del vigor germinativo*

Se contabilizaron diariamente el número de semillas germinadas hasta que no se observaron incrementos en el número de semillas con emisión de radícula, y para obtener este valor se aplicó la ecuación 3.

$$VG = VM * GDM$$

Ec. (3)

**Fuente:** Ceballos y López, 2007

Donde:

**VM** = Valor máximo: Corresponde al valor máximo o pico que se presenta al dividir el porcentaje acumulado de germinación y la cantidad de días que tardó en obtenerse.

**GDM** = Germinación media diaria: Es la razón entre el porcentaje final de emergencia y el número de días transcurridos hasta llegar a ese valor.

*c) Evaluación de la longitud radicular*

Se midió la radícula con el calibrador pie de rey diariamente a excepción de los fines de semana, hasta los diez días después de iniciada la germinación.

La evidencia fotográfica de este procedimiento se puede observar en el anexo 6.

### **3.4.2 Evaluación de los efectos alelopáticos en el crecimiento inicial (fase de campo)**

La evaluación de los efectos alelopáticos sobre el crecimiento inicial se llevó a cabo en el vivero.

### ***3.4.2.1 Manejo estadístico del experimento***

#### *3.4.2.1.1 Variables evaluadas*

Las variables que se evaluaron fueron:

- Altura de planta.
- Número de hojas.
- Diámetro basal de las plantas.
- Supervivencia.

#### *3.4.2.1.2 Diseño experimental*

Diseño Irrestricto al Azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones para cada especie.

#### *3.4.2.1.3 Tratamientos*

##### a) Codificación

Los tratamientos fueron los mismos que se utilizaron en el laboratorio para la evaluación de los efectos alelopáticos en la germinación (*Ver tabla 1*).

**Tabla 1***Tratamientos*

<b>Codificación</b>	<b>N°</b>	<b>Tratamiento</b>
		<b>Nombre</b>
TRC	1	Raíces de aliso con café
THC	2	Hojarasca de aliso con café
TCC	3	Corteza de aliso con café
TTC	4	Tratamiento testigo del café
TRT	5	Raíces de aliso con tomate de árbol
THT	6	Hojarasca de aliso con tomate de árbol
TCT	7	Corteza de aliso con tomate de árbol
TTT	8	Tratamiento testigo del tomate de árbol
TRF	9	Raíces de aliso con fréjol
THF	10	Hojarasca de aliso con fréjol
TCF	11	Corteza de aliso con fréjol
TTF	12	Tratamiento testigo del fréjol
TRM	13	Raíces de aliso con maíz
THM	14	Hojarasca de aliso con maíz
TCM	15	Corteza de aliso con maíz
TTM	16	Tratamiento testigo del maíz

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

b) Distribución

En el ensayo de campo los tratamientos fueron distribuidos aleatoriamente a lo largo de cuatro platabandas de 0.75 x 4 m; cada una equivalente a una repetición (*Ver figura 9*).

<b>Repetición 1</b>							
T13	T10	T5	T2	T8	T16	T6	T1
T15	T3	T7	T12	T4	T11	T14	T9
<b>Repetición 2</b>							
T6	T12	T7	T4	T15	T11	T13	T16
T9	T2	T10	T14	T8	T5	T1	T3
<b>Repetición 3</b>							
T14	T8	T1	T3	T11	T7	T10	T5
T12	T16	T6	T9	T13	T2	T15	T4
<b>Repetición 4</b>							
T4	T15	T3	T1	T11	T6	T8	T12
T7	T10	T5	T13	T9	T16	T2	T14

*Figura 9.* Distribución de los tratamientos en el vivero

**Nota:** T4, T8, T12 y T16 son los tratamientos testigos

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome



#### 3.4.2.1.4 Características del experimento

**Tabla 4**

*Características del experimento*

Características	Cantidad
Número de tratamientos por experimento (por especie)	4
Número de repeticiones	4
Número de unidades experimentales	16
Semillas por unidad experimental	20
Número de fundas por tratamiento	80
Número de fundas totales	1280

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

#### 3.4.2.1.5 Análisis estadístico

El análisis estadístico fue el mismo que se utilizó para la evaluación de los efectos alelopáticos en la germinación, aplicando la ecuación 1 correspondiente al modelo estadístico del diseño irrestricto al azar.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ijk}$$

Ec. (1)

**Fuente:** Aguirre y Vizcaíno, 2010

Donde:

$Y_{ij}$  = Observación individual

$\mu$  = Media

$\tau_i$  = Efecto del tratamiento

$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental

Para comparar entre los tratamientos de cada una de las especies se utilizó la prueba de Duncan al 5%, aplicando el ADEVA que se puede observar en la tabla 3.

**Tabla 3**

*Esquema ADEVA*

FV	Gl
Tratamiento	$t-1 = 4-1 = 3$
Error	$t(n-1) = 4(4-1) = 12$
Total	$tn-1 = (4 \times 4) - 1 = 15$

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

### 3.4.2.2 Manejo específico del experimento

Las actividades de recolección, transporte y secado del material vegetal (hojas, corteza y raíz) de *Alnus nepalensis*, así como la adquisición y selección de la semilla de los cuatro cultivos agrícolas, fueron las mismas que se desarrollaron para la evaluación de los efectos alelopáticos sobre la germinación en el laboratorio.

#### 3.4.2.2.1 Establecimiento del ensayo

La metodología fue adaptada de Maldonado y Encalada (2008) y Criollo, Lagos y Narváez (2000).

##### a) Construcción de platabandas y de la estructura de protección

Se construyó cuatro platabandas de acuerdo a las dimensiones indicadas en la distribución de los tratamientos y una estructura, cuyo techo se cubrió con plástico de invernadero para controlar la humedad; así como también, se colocó paredes de sarán de 60% para evitar daños por animales en el ensayo.

b) Preparación del sustrato y llenado de las fundas

- Se preparó el sustrato con tierra del sitio, arena y cascarilla de arroz en proporciones 2:1:1, siendo este el tratamiento testigo. Para los demás tratamientos se incorporó a este sustrato el material vegetal de *Alnus nepalensis* previamente picado, equivalente al 2% del peso total del sustrato.
- El sustrato se colocó en fundas de polietileno de 6 x 8 pulgadas, las que posteriormente fueron colocadas en las platabandas de acuerdo a la distribución antes mencionada.

c) Siembra de semillas

- Las semillas de maíz y fréjol fueron sembradas directamente en la funda.
- Las semillas de café y tomate de árbol fueron sembradas en almácigos para luego ser repicadas.

d) Repique de las plantas

- El café fue repicado cuando la mayoría de las plántulas tuvo las dos hojas primarias y en el tomate de árbol se lo realizó cuando tuvo las dos primeras hojas verdaderas.

#### 3.4.2.2.2 Evaluación de las variables

a) Se colocó una pequeña estaca de dos centímetros de longitud al lado de cada planta para señalar el cuello de la planta que fue el punto desde donde se tomaron la altura y el diámetro basal.

b) Todas las variables fueron evaluadas semanalmente. En el caso del fréjol, el maíz y el tomate de árbol se evaluaron las variables hasta los tres meses de iniciada la toma de medidas, debido a la rapidez de su crecimiento. En el caso del café se lo hizo hasta los seis meses. Para el

tomate de árbol y café se realizó un modelo de regresión lineal para predecir la dinámica de las variables estudiadas hasta en un año después de iniciar con la toma de datos.

- c) El diámetro basal se tomó en el cuello de la planta con el calibrador pie de rey.
- d) La altura fue medida desde el cuello hasta el ápice con la ayuda de una cinta métrica.
- e) El número de hojas se obtuvo contando la cantidad de hojas totalmente desplegadas y desarrolladas y la sobrevivencia se obtuvo contando el número de plantas vivas en relación al número total de la muestra.

La evidencia fotográfica de este procedimiento se puede observar en el anexo 6.

#### 3.4.2.2.3 Aplicación del modelo de regresión lineal

Se aplicó un modelo de regresión lineal para conocer la tendencia que tendrán las variables en el tomate de árbol y café hasta un año después de iniciada la toma de datos. Para esto se utilizó la ecuación 4.

$$\hat{Y} = b_0 + b_1X + \epsilon$$

Ec. (4)

**Fuente:** Aguirre y Vizcaíno, 2010

Donde:

$\hat{Y}$  = Variable - respuesta

$b_0$  = Intercepto

$b_1$  = Pendiente de la recta

$X$  = Variable independiente

$\epsilon$  = Error estándar de los coeficientes

# CAPÍTULO IV

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Resultados

En la presente investigación se confirmó la hipótesis alterna en base a los resultados obtenidos en cada variable, mediante la prueba de Duncan al 5% de probabilidad estadística.

#### 4.1.1 Efectos alelopáticos en la germinación de los cultivos agrícolas

##### 4.1.1.1 Porcentaje de germinación

Como se indica en la tabla 5 y el gráfico 1 los resultados del porcentaje de germinación obtenidos en el presente estudio a excepción del tratamiento de tomate de árbol con extractos acuosos de *Alnus nepalensis* son cercanos al 100% y muy similares a los obtenidos mediante la prueba de viabilidad de tetrazodio (maíz 93%, fréjol 97%, café 99% y tomate de árbol 89%).

**Tabla 5**

*Resultados del porcentaje de germinación*

Tratamiento	Porcentaje de germinación (%)
<b>TTM (Testigo maíz)</b>	97,50
TRM (Raíz maíz)	98,75
TCM (Corteza maíz)	98,75
THM (Hoja maíz)	96,25
<b>TTF (Testigo fréjol)</b>	98,75
TRF (Raíz fréjol)	95,00
TCF (Corteza fréjol)	97,50
THF (Hoja fréjol)	97,50
<b>TTC (Testigo café)</b>	97,50
TRC (Raíz café)	93,75
TCC (Corteza café)	95,00
THC (Hoja café)	93,75

Continuación.../...

<b>TTT (Testigo tomate)</b>	93,75
TRT (Raíz tomate)	72,50
<b>TCT (Corteza tomate)</b>	71,25
THT (Hoja tomate)	41,25

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

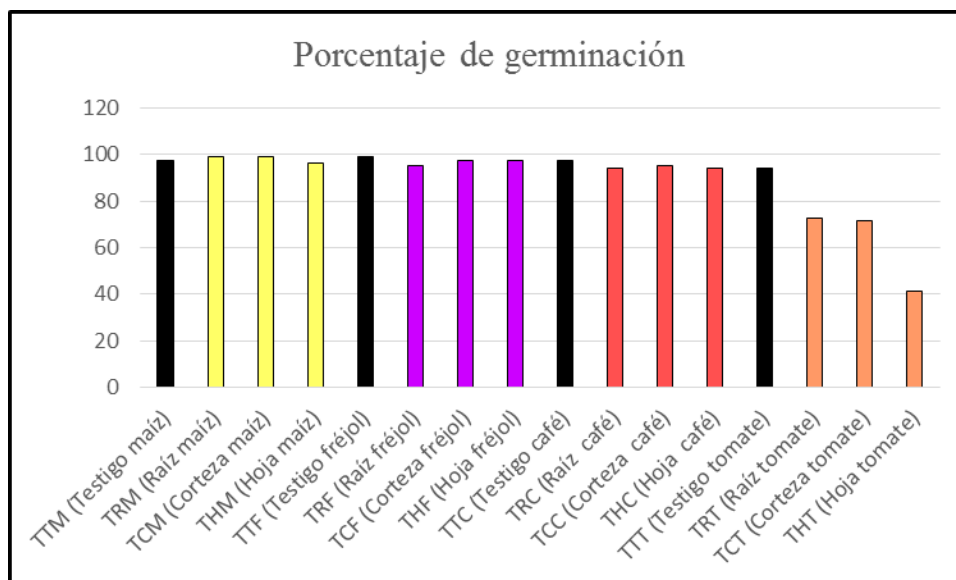
#### 4.1.1.1.1 Análisis estadístico

##### a) Fréjol, maíz y café

Se determinó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos con extractos acuosos del material vegetal de *Alnus nepalensis* con el tratamiento testigo (Ver tabla 13, 14 y 15 - anexo 2).

##### b) Tomate de árbol

Se determinaron diferencias significativas entre los tratamientos con extractos acuosos y el tratamiento testigo, siendo el tratamiento testigo el que mayor porcentaje de germinación presentó (Ver tabla 16 y 17 - anexo 2). Esta diferencia se observó desde el primer día de la toma de datos (Ver gráfico 8 - anexo 3).



**Gráfico 1.** Porcentaje de germinación  
**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

El resultado del porcentaje de germinación de las semillas de maíz al ser tratadas con extractos acuosos de hoja de *Alnus nepalensis* al 2% de concentración obtenido en la presente investigación es similar al de Uniyal & Chhetri (2010), debido a que no se encontraron diferencias significativas entre este tratamiento con el tratamiento testigo. Esta similitud puede atribuirse a las características de las semillas de maíz que al ser ortodoxas y generalmente poseer un alto porcentaje de germinación, esta variable no fue afectada. Además en las dos investigaciones se utilizó el mismo porcentaje de concentración en el extracto acuoso.

En lo referente a los extractos acuosos de la corteza, en la presente investigación no se encontró diferencias significativas entre este tratamiento y el tratamiento testigo, mientras que en la investigación de Uniyal & Chhetri (2010) se encontró que el tratamiento con corteza es 11,5% inferior al testigo, esto posiblemente se debe a las diferentes variedades de maíz utilizadas en las dos investigaciones y a la edad de los árboles de donde se obtuvo el material vegetal. En la presente investigación se obtuvo el material vegetal de árboles de entre 5 y 10 años, mientras que en la investigación de Uniyal & Chhetri (2010), el material se obtuvo de árboles de 15 a 20 años.

El resultado del porcentaje de germinación de las semillas del fréjol al ser tratadas con extractos acuosos de la hoja de *Alnus nepalensis* al 2% de concentración, es similar al obtenido por Lakiang & Gopichand (2006), debido a que este tratamiento fue inferior al testigo en un 4% y en la presente investigación fue de 1,25 %. Es importante resaltar que en base a la prueba de Duncan realizada, esta diferencia no es estadísticamente significativa. Esta similitud puede atribuirse a la concentración de los extractos acuosos utilizados en las dos investigaciones y a las características de las semillas del fréjol, las cuales son las mismas que las expuestas anteriormente en el caso del maíz.

#### 4.1.1.2 Vigor germinativo

Como se indica en la tabla 6 los resultados de vigor germinativo de los tratamientos con extractos acuosos y tomate de árbol son bastante bajos en comparación al testigo y al resto de tratamientos de los otros cultivos agrícolas, esto se puede apreciar mejor en el gráfico 2 y en el análisis estadístico correspondiente.

**Tabla 6**

*Resultados del vigor germinativo*

<b>Tratamiento</b>	<b>Vigor germinativo</b>
<b>TTM (Testigo maíz)</b>	865,00
TRM (Raíz maíz)	711,56
TCM (Corteza maíz)	889,38
THM (Hoja maíz)	915,63
<b>TTF (Testigo fréjol)</b>	921,88
TRF (Raíz fréjol)	1055,21
TCF (Corteza fréjol)	789,88
THF (Hoja fréjol)	534,75
<b>TTC (Testigo café)</b>	373,25
TRC (Raíz café)	227,89
TCC (Corteza café)	408,93
THC (Hoja café)	439,06
<b>TTT (Testigo tomate)</b>	351,02
TRT (Raíz tomate)	81,12
TCT (Corteza tomate)	67,33
THT (Hoja tomate)	23,20

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome



#### 4.1.1.2.1 Análisis estadístico

##### a) Fréjol, maíz y café

Se determinó que no existen diferencias significativas en el vigor germinativo entre los tratamientos con extractos acuosos del material vegetal de *Alnus nepalensis* y el tratamiento testigo (Ver tabla 18, 19 y 20 - anexo 2).

##### b) Tomate de árbol

Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con extractos acuosos y el tratamiento testigo, siendo este último el que mayor vigor germinativo presentó (Ver tabla 21 y 22 - anexo 2).

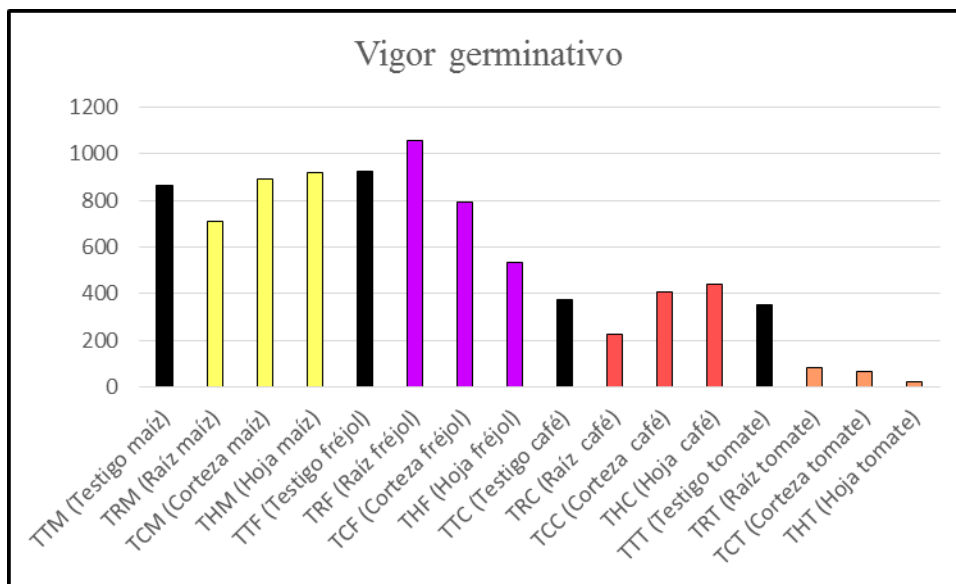


Gráfico 2. Vigor germinativo

Elaborado por: Guillermo David Varela Jácome

En vista de que no existen investigaciones con las cuales se puedan comparar los resultados del vigor germinativo de los cuatro cultivos agrícolas en extractos acuosos de la raíz, corteza y hoja de *Alnus nepalensis* obtenidos en este estudio, éstos servirán como precedente para futuras

investigaciones. Es importante mencionar que en la investigación de Criollo *et al.* (2000) se encontró que extractos radiculares y foliares de Eucalipto (*Eucalyptus sp.*) y Porotón (*Erythrina edulis*) afectan el vigor germinativo del tomate de árbol.

#### 4.1.1.3 Longitud radicular

Como se observa en la tabla 7 y el gráfico 3 los cultivos de ciclo corto son los que mayor longitud radicular presentaron en el décimo día de toma de datos. En el tomate de árbol se puede apreciar una clara diferencia entre los tratamientos que contenían extractos acuosos con el testigo, situación que fue comprobada durante el análisis estadístico.

**Tabla 7**

*Resultados de la longitud radicular*

<b>Tratamiento</b>	<b>Longitud radicular (mm)</b>
<b>TTM (Testigo maíz)</b>	61,44
TRM (Raíz maíz)	70,10
TCM (Corteza maíz)	73,83
THM (Hoja maíz)	64,89
<b>TTF (Testigo fréjol)</b>	60,91
TRF (Raíz fréjol)	81,51
TCF (Corteza fréjol)	80,94
THF (Hoja fréjol)	87,36
<b>TTC (Testigo café)</b>	8,81
TRC (Raíz café)	8,86
TCC (Corteza café)	9,92
THC (Hoja café)	10,64
<b>TTT (Testigo tomate)</b>	26,54
TRT (Raíz tomate)	10,54
TCT (Corteza tomate)	14,93
THT (Hoja tomate)	7,54

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

#### 4.1.1.3.1 Análisis estadístico

##### a) Maíz y café

Se determinó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos con extractos acuosos del material vegetal de *Alnus nepalensis* y el tratamiento testigo (Ver tabla 23 y 24 - anexo 2).

##### b) Fréjol

Se encontraron diferencias significativas, siendo el tratamiento testigo el que menor longitud radicular presentó (Ver tabla 25 y 26 - anexo 2). Esta diferencia se observó desde el sexto día de la toma de datos (Ver gráfico 9 - anexo 3).

##### c) Tomate de árbol

Se encontraron diferencias significativas, siendo el tratamiento testigo el que mayor longitud radicular presentó (Ver tabla 27 y 28 - anexo 2). Esta diferencia se observó desde el primer día de la toma de datos (Ver gráfico 10 - anexo 3).

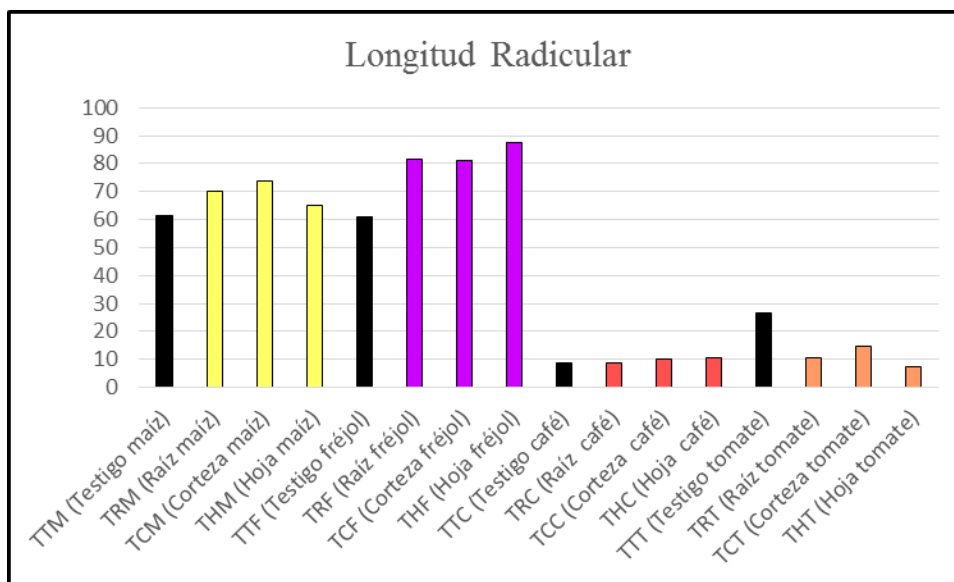


Gráfico 3. Longitud radicular

Elaborado por: Guillermo David Varela Jácome

El resultado de la longitud radicular de las semillas del maíz al ser tratadas con extractos acuosos de la hoja de *Alnus nepalensis* al 2% de concentración obtenido en la presente investigación, es similar al de Uniyal & Chhetri (2010), debido a que este tratamiento fue superior al testigo en un 5,29% y en el presente estudio fue de 5,32%, esta similitud puede atribuirse a que en las dos investigaciones se utilizó el mismo porcentaje de concentración.

En lo referente a los extractos acuosos de la corteza, en la presente investigación se encontró que este tratamiento es 16,78% superior al tratamiento testigo, mientras que en la investigación de Uniyal & Chhetri (2010) es 22,35% inferior, esto posiblemente se debe a las diferentes variedades de maíz utilizadas en las dos investigaciones y a la edad de los árboles de donde se obtuvo el material vegetal. Es importante resaltar que en base a la prueba de Duncan realizada, esta diferencia es estadísticamente no significativa.

El resultado de la longitud radicular de las semillas del fréjol al ser tratadas con extractos acuosos de la hoja de *Alnus nepalensis* al 2% de concentración, obtenido en la presente investigación, es diferente al obtenido por Lakiang & Gopichand (2006), debido a que este tratamiento fue inferior al testigo en un 27,82 % mientras que en el presente estudio fue superior en un 30,28%, esta diferencia se puede atribuir a la variedad de fréjol utilizada, ya que en el presente estudio se empleó una variedad de fréjol mejorada por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). Es importante resaltar que en base a la prueba de Duncan realizada, se determinó que existe una diferencia altamente significativa entre los tratamientos antes mencionados.

## 4.1.2 Evaluación de los efectos alelopáticos en el crecimiento inicial de los cultivos agrícolas

### 4.1.2.1 Sobrevivencia

Como se observa en la tabla 8 y el gráfico 4 los valores de la sobrevivencia, a excepción del tomate de árbol, son superiores al 80 %, esto se debe a que esta especie fue atacada por plagas durante la ejecución del ensaño, situación que pudo ser controlada por medio de la fumigación.

**Tabla 8**

*Resultados de la sobrevivencia*

Tratamiento	Sobrevivencia (%)
<b>TTM (Testigo maíz)</b>	81,25
TRM (Raíz maíz)	80,00
TCM (Corteza maíz)	87,50
THM (Hoja maíz)	86,25
<b>TTF (Testigo fréjol)</b>	93,75
TRF (Raíz fréjol)	82,50
TCF (Corteza fréjol)	82,50
THF (Hoja fréjol)	82,50
<b>TTC (Testigo café)</b>	92,50
TRC (Raíz café)	85,00
TCC (Corteza café)	83,75
THC (Hoja café)	92,50
<b>TTT (Testigo tomate)</b>	60,00
TRT (Raíz tomate)	55,00
TCT (Corteza tomate)	42,50
THT (Hoja tomate)	68,75

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

Para las especies fréjol, maíz, café y tomate de árbol se determinó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos que contenían sustratos y el material vegetal de *Alnus nepalensis* con el tratamiento testigo (Ver tabla 29, 30, 31 y 32 - anexo 2).

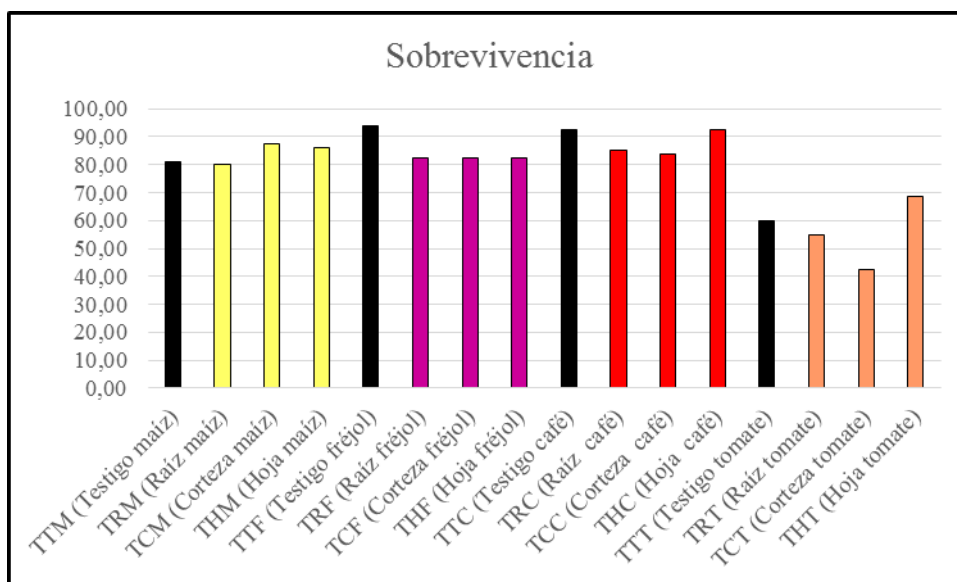


Gráfico 4. Sobrevivencia

Elaborado por: Guillermo David Varela Jácome

#### 4.1.2.2 Diámetro basal

Como se observa en la tabla 9 y en el gráfico 5 la especie que mayor diámetro basal alcanzó fue el maíz, entre los otros cultivos destaca el tratamiento de tomate de árbol con hoja de *Alnus nepalensis*, esto también se pudo observar en el análisis estadístico correspondiente.

Tabla 9

Resultados del diámetro basal

Tratamiento	DB (mm)
<b>TTM (Testigo maíz)</b>	6,25
TRM (Raíz maíz)	4,86
TCM (Corteza maíz)	6,48
THM (Hoja maíz)	6,53
<b>TTF (Testigo fréjol)</b>	2,52
TRF (Raíz fréjol)	2,33
TCF (Corteza fréjol)	2,32
THF (Hoja fréjol)	2,25
<b>TTC (Testigo café)</b>	1,71

Continúa.../...

Continuación.../...

TRC (Raíz café)	1,53
TCC (Corteza café)	1,54
THC (Hoja café)	2,33
<b>TTT (Testigo tomate)</b>	1,99
TRT (Raíz tomate)	1,54
TCT (Corteza tomate)	1,75
THT (Hoja tomate)	4,07

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

#### 4.1.2.2.1 Análisis estadístico

##### a) Maíz y fréjol

Se determinó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos que contenían sustratos con el material vegetal de *Alnus nepalensis* y el tratamiento testigo (Ver tabla 33 y 34).

##### b) Café y el tomate de árbol

Se encontraron diferencias significativas, siendo el tratamiento cuyo sustrato contenía hoja de aliso de nepal el que mayor diámetro basal presentó (Ver tabla 35, 36, 37 y 38 - anexo 2). Esta diferencia se observó desde la semana 18 y tres (Ver gráfico 11 y 12 - anexo 3).

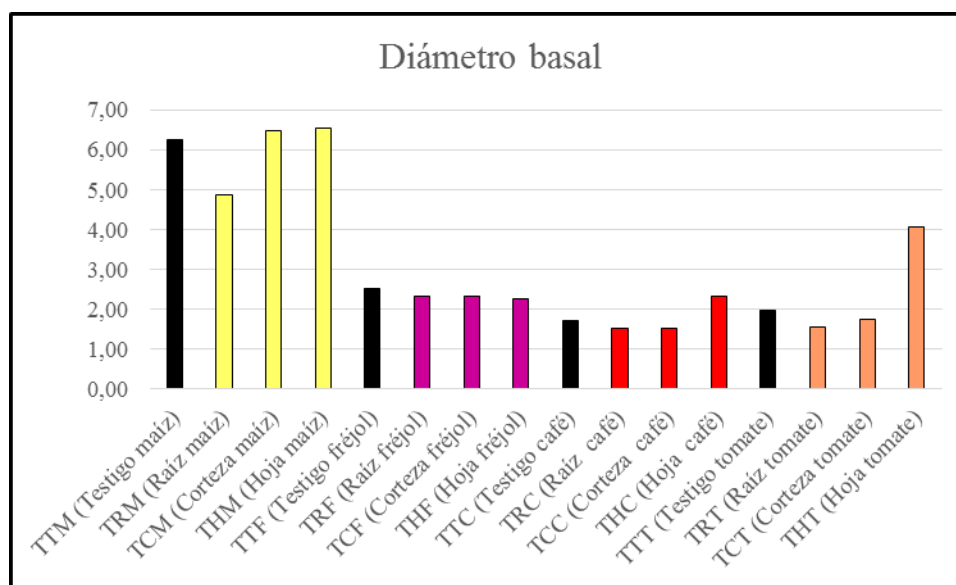


Gráfico 5. Diámetro basal

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

### 4.1.2.3 Altura

Los resultados obtenidos en la altura son similares a los del diámetro basal. La mayor altura se encontró en los tratamientos del maíz destacando el tratamiento con hoja de *Alnus nepalensis* en el tomate de árbol en comparación con los demás tratamientos de esta especie. Esto se puede observar en la tabla 10, el gráfico 6 y el análisis estadístico correspondiente.

**Tabla 10**

*Resultados de la altura*

Tratamiento	Altura (cm)
<b>TTM (Testigo maíz)</b>	59,93
TRM (Raíz maíz)	50,19
TCM (Corteza maíz)	56,82
THM (Hoja maíz)	59,86
<b>TTF (Testigo fréjol)</b>	22,58
TRF (Raíz fréjol)	18,16
TCF (Corteza fréjol)	19,16
THF (Hoja fréjol)	17,14
<b>TTC (Testigo café)</b>	8,06
TRC (Raíz café)	6,17
TCC (Corteza café)	6,82
THC (Hoja café)	10,80
<b>TTT (Testigo tomate)</b>	4,54
TRT (Raíz tomate)	3,31
TCT (Corteza tomate)	3,74
THT (Hoja tomate)	12,20

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

#### 4.1.2.3.1 Análisis estadístico

##### a) Fréjol y maíz

Se determinó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos que contenían sustratos y el material vegetal de *Alnus nepalensis* con el tratamiento testigo (Ver tabla 39 y 40).



b) Café y el tomate de árbol

Se encontraron diferencias significativas, siendo el tratamiento cuyo sustrato contenía hoja de aliso el que mayor altura presentó (Ver tabla 41, 42, 43 y 44 - anexo 2). Esta diferencia se observó desde la semana 15 y cinco respectivamente (Ver gráfico 13 y 14 - anexo 3).

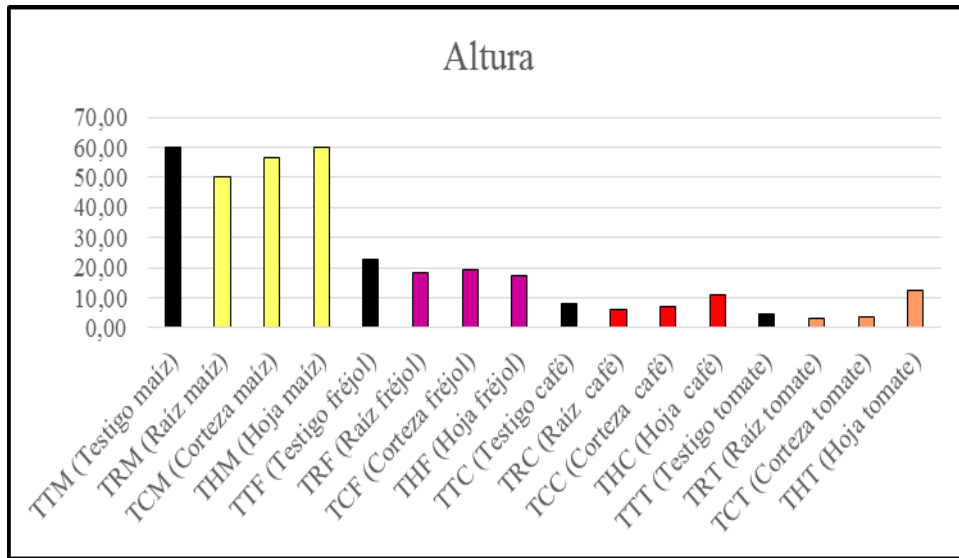


Gráfico 6. Altura

Elaborado por: Guillermo David Varela Jácome

#### 4.1.2.4 Número de hojas

Como se observa en la tabla 11 y el gráfico 7 el número de hojas entre las especies es muy similar, a excepción del fréjol en donde el bajo número de hojas se debe a que al momento de tomar los datos, a los tres meses del inicio de la toma de los mismos, esta especie se encontraba en su última etapa fenológica.

**Tabla 11***Resultados del número de hojas*

<b>Tratamiento</b>	<b>#Hojas</b>
<b>TTM (Testigo maíz)</b>	7,38
TRM (Raíz maíz)	6,80
TCM (Corteza maíz)	7,70
THM (Hoja maíz)	7,55
<b>TTF (Testigo fréjol)</b>	0,40
TRF (Raíz fréjol)	0,55
TCF (Corteza fréjol)	0,80
THF (Hoja fréjol)	0,38
<b>TTC (Testigo café)</b>	7,25
TRC (Raíz café)	6,13
TCC (Corteza café)	5,80
THC (Hoja café)	8,03
<b>TTT (Testigo tomate)</b>	3,76
TRT (Raíz tomate)	3,30
TCT (Corteza tomate)	2,96
THT (Hoja tomate)	5,00

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

#### 4.1.2.4.1 Análisis estadístico

##### a) Fréjol y maíz

Se determinó que no existen diferencias significativas en el número de hojas entre los tratamientos que contenían sustratos y el material vegetal de *Alnus nepalensis* con el tratamiento testigo (Ver tabla 45 y 46 - anexo 2).

##### b) Café

Se encontraron diferencias significativas siendo el tratamiento con hoja el mejor, seguido del testigo, mientras que el tratamiento con corteza fue el que menor número de hojas presentó (Ver tabla 47 y 48 - anexo 2). Esta diferencia se observó desde la semana 17 (Ver gráfico 15 - anexo 3).

c) Tomate de árbol

Se encontraron diferencias significativas, siendo el tratamiento cuyo sustrato contenía hoja de aliso el que mayor número de hojas presentó (Ver tabla 49 y 50 - anexo 2). Esta diferencia se observó desde la semana cinco (Ver gráfico 16 - anexo 3)

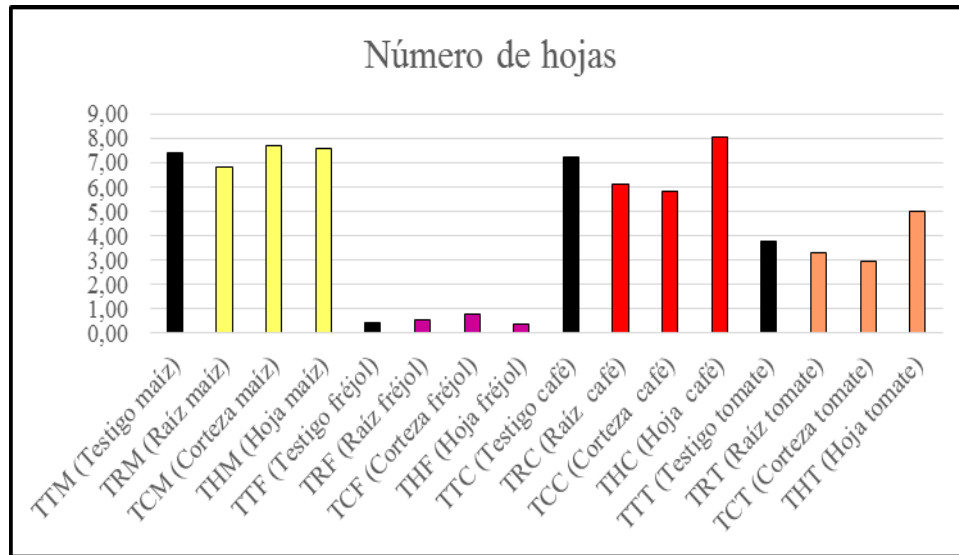


Gráfico 7. Número de hojas

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

En vista de que no se han encontrado estudios sobre los efectos alelopáticos de *Alnus nepalensis* sobre el crecimiento inicial de los cuatro cultivos analizados en la presente investigación, los resultados obtenidos servirán como precedente para futuras investigaciones. Es importante resaltar que en varios estudios, en donde se utilizaron metodologías similares a la empleada en la presente investigación, se ha comprobado que además de *Alnus nepalensis* existen otras especies forestales que producen efectos alelopáticos sobre el fréjol y el maíz, como en el estudio realizado por Jarma *et al.* (2004) en donde encontraron que extractos de *Cyperus rotundus* afecta al crecimiento en altura de estos cultivos o el llevado a cabo por Mauli *et al.* (2009), en el cual se observó que la leucaena afecta el crecimiento radicular del maíz, también están los estudios realizados por Blanco *et al.* (2008), en donde se determinó que extractos acuosos de girasol, maíz, camote y del propio fréjol producen efectos alelopáticos en la

germinación, sobrevivencia y crecimiento del tallo del fréjol y Avila *et al.* (2007) en donde se encontró que extractos de *Eucalyptus robusta* provocan que el crecimiento del maíz se retrase.

En otras investigaciones como la realizada por Criollo *et al.* (2000) se demostró que la incorporación de material vegetal o de hojarasca de eucalipto (*Eucalyptus sp.*) y laurel de cera (*Myrica pubescens*) afectan la velocidad de crecimiento del tomate de árbol en invernadero, mientras que en la investigación llevada a cabo por Valdez (2004) se encontró que *Pinus caribaea* provoca efectos alelopáticos sobre la germinación del café.

Existen estudios que demuestran que *Alnus nepalensis* produce efectos alelopáticos sobre diferentes cultivos agrícolas como en el realizado por Uniyal & Chhetri (2010) en donde encontraron efectos alelopáticos de la hoja de esta especie sobre el porcentaje de germinación de la mostaza, el trigo y la arveja o el realizado por Kumar *et al.* (2006), en donde se demostró que la especie forestal produce efectos alelopáticos en la germinación de la arveja y en el crecimiento radicular del arroz, de la arveja y del fréjol.

#### **4.1.3 Aplicación del modelo de regresión lineal**

Como complemento de la presente investigación, mediante un modelo de regresión lineal se determinó la tendencia de las variables del crecimiento inicial del café y del tomate de árbol hasta en un año. No se aplicó este modelo para el maíz y el frejol debido a que en los tres meses de toma de datos se cubría gran parte del ciclo de vida de estas especies.

Mediante la función de correlación se determinó que en todas las variables de todos los tratamientos a excepción del diámetro basal en el café, en sustrato con material vegetal de raíz y corteza de *Alnus nepalensis*, existe correlaciones significativas y altamente significativas, por lo cual se procedió a aplicar el modelo de regresión lineal en todas las variables a excepción de las antes mencionadas. Esta no significancia puede deberse a la frecuencia en la que fueron tomados los datos, la cual fue semanal, además del lento crecimiento del café en cuanto a diámetro basal se refiere y a que al trabajar en milímetros con los tratamientos que más lento crecimiento

presentaron, la diferencia entre los primeros y últimos datos obtenidos es muy pequeña como para establecer una tendencia.

En las variables que se obtuvo una correlación significativa se aplicó modelos de regresión lineal, obteniendo en la mayoría de estos un coeficiente de determinación  $R^2$  superior al 80% lo que hace que estos modelos sean aceptables. En la variable altura, en los tratamientos de corteza de *Alnus nepalensis* con café y de raíz de esta especie forestal con tomate de árbol; en la variable diámetro basal, en los tratamientos de hoja de *Alnus nepalensis* con café y de raíz de esta especie forestal con tomate de árbol y en la variable número de hojas, en el tratamiento de hoja de *Alnus nepalensis* con tomate de árbol, se obtuvieron coeficientes de determinación  $R^2$  en el rango de entre 60 % y 80% lo que significa que estos modelos son medianamente aceptables, lo suficiente para determinar una tendencia. En las variables diámetro basal, en el tratamiento testigo del café; sobrevivencia, en el tratamiento de hoja de *Alnus nepalensis* con tomate de árbol y número de hojas, en los tratamientos de raíz y corteza de esta especie forestal con tomate de árbol se obtuvieron coeficientes de determinación  $R^2$  inferiores al 60%, lo que hace que estos modelos no sean aceptables. En este caso se recomienda aplicar otro modelo de regresión diferente al propuesto en la presente investigación.

La tendencia en las variables en las que se la pudo determinar, muestra que la única variable que disminuye mes a mes es la sobrevivencia del tomate de árbol, esto se debe a la susceptibilidad que tiene este cultivo frente al ataque de plagas. Es importante señalar que según la tendencia de las variables, la diferencia entre los tratamientos de cada cultivo se incrementará, esto hace suponer que los efectos alelopáticos en el número de hojas del café y los efectos estimulantes en el crecimiento inicial del tomate de árbol, serán más notorios con el paso del tiempo.

Las ecuaciones y los resultados obtenidos aplicando el modelo de regresión lineal se puede observar en el anexo 4 y el 5.

#### 4.1.4 Resumen de los resultados

**Tabla 12**

*Resumen de los resultados*

Objetivo	Cultivo	Variable	Material vegetal	Efecto
Germinación	Maíz	Porcentaje de germinación	Raíz	No significativos
			Corteza	No significativos
			Hoja	No significativos
		Vigor germinativo	Raíz	No significativos
			Corteza	No significativos
			Hoja	No significativos
		Longitud radicular	Raíz	No significativos
			Corteza	No significativos
			Hoja	No significativos
	Fréjol	Porcentaje de germinación	Raíz	No significativos
			Corteza	No significativos
			Hoja	No significativos
		Vigor germinativo	Raíz	No significativos
			Corteza	No significativos
			Hoja	No significativos
		Longitud radicular	Raíz	Estimulantes
			Corteza	Estimulantes
			Hoja	Estimulantes
	Café	Porcentaje de germinación	Raíz	No significativos
			Corteza	No significativos
			Hoja	No significativos
Vigor germinativo		Raíz	No significativos	
		Corteza	No significativos	
		Hoja	No significativos	
Longitud radicular		Raíz	No significativos	
		Corteza	No significativos	
		Hoja	No significativos	
Tomate de árbol	Porcentaje de germinación	Raíz	Alelopáticos	
		Corteza	Alelopáticos	
		Hoja	Alelopáticos	
	Vigor germinativo	Raíz	Alelopáticos	
		Corteza	Alelopáticos	
		Hoja	Alelopáticos	
	Longitud radicular	Raíz	Alelopáticos	
		Corteza	Alelopáticos	

			Hoja	Alelopáticos
Crecimiento inicial	Maíz	Sobrevivencia	Raíz	No significativos
			Corteza	No significativos
			Hoja	No significativos
		Diámetro basal	Raíz	No significativos
			Corteza	No significativos
			Hoja	No significativos
		Altura	Raíz	No significativos
			Corteza	No significativos
			Hoja	No significativos
		Número de hojas	Raíz	No significativos
			Corteza	No significativos
			Hoja	No significativos
	Fréjol	Sobrevivencia	Raíz	No significativos
			Corteza	No significativos
			Hoja	No significativos
		Diámetro basal	Raíz	No significativos
			Corteza	No significativos
			Hoja	No significativos
		Altura	Raíz	No significativos
			Corteza	No significativos
			Hoja	No significativos
		Número de hojas	Raíz	No significativos
			Corteza	No significativos
			Hoja	No significativos
Café	Sobrevivencia	Raíz	No significativos	
		Corteza	No significativos	
		Hoja	No significativos	
	Diámetro basal	Raíz	No significativos	
		Corteza	No significativos	
		Hoja	Estimulantes	
	Altura	Raíz	No significativos	
		Corteza	No significativos	
		Hoja	Estimulantes	
	Número de hojas	Raíz	Alelopáticos	
		Corteza	Alelopáticos	
		Hoja	Estimulantes	
Tomate de árbol	Sobrevivencia	Raíz	No significativos	
		Corteza	No significativos	
		Hoja	No significativos	
	Diámetro basal	Raíz	No significativos	
		Corteza	No significativos	
		Hoja	Estimulantes	

Continuación.../...

	Altura	Raíz	No significativos
		Corteza	No significativos
		Hoja	Estimulantes
	Número de hojas	Raíz	No significativos
		Corteza	No significativos
		Hoja	Estimulantes

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome



## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

Las semillas del cultivo de tomate de árbol presentaron efectos alelopáticos en su germinación (disminución en el porcentaje de germinación, crecimiento radicular y vigor germinativo) al ser tratados con los extractos acuosos de la hoja, corteza y raíz de *Alnus nepalensis* D. DON, mientras que las semillas de los cultivos de café, maíz y fréjol no presentaron efectos significativos.

Las plantas de los cultivos de maíz, café y tomate de árbol no presentaron efectos alelopáticos en su crecimiento inicial (disminución en la sobrevivencia, diámetro basal, altura y número de hojas) al desarrollarse en sustrato preparado con material vegetal de la hoja, corteza y raíz de *Alnus nepalensis* D. DON, pero en las plantas de café se encontraron efectos alelopáticos sobre el número de hojas al ser tratados con material vegetal de corteza y raíz.

Las semillas del cultivo de fréjol presentan efectos estimulantes en su germinación (incremento en el crecimiento radicular) al ser tratados con los extractos acuosos de la hoja, corteza y raíz de *Alnus nepalensis* D. DON.

Las plantas de los cultivos de café y tomate de árbol presentan efectos estimulantes en su crecimiento inicial (incremento en el diámetro basal, altura y número de hojas) al desarrollarse en sustrato preparado con material vegetal de la hoja de *Alnus nepalensis* D. DON

La especie que presentó mayores efectos tanto alelopáticos como estimulantes fue el tomate de árbol, mientras que el material vegetal que mayores efectos causó fue la hoja.

## 5.2 Recomendaciones

En próximas investigaciones realizar un análisis del tipo de sustancia presente en la hoja que causó los efectos alelopáticos en el tomate de árbol.

Realizar un estudio sobre el proceso fisiológico que se ve afectado en el tomate de árbol por la sustancia alelopática.

Realizar el estudio de los efectos alelopáticos en las diferentes etapas fenológicas de los cultivos con la finalidad de contar con mayor información sobre este tema.

En la fase de vivero, separar las especies desde el inicio según su velocidad de crecimiento, para evitar que especies con rápido crecimiento produzcan sombra en las especies con un crecimiento más lento.

## CAPÍTULO VI

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, P. (2011). *Caracterización morfológica y molecular de tomate de árbol, Solanum betaceum Cav. (Solanaceae)*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Aguirre, C., & Vizcaíno, M. (2010). *Aplicación de estimadores estadísticos y diseños experimentales en investigaciones forestales*. Ibarra, Ecuador: Editorial Universitaria.
- Altamirano, J. (2012). *Influencia de la variabilidad climática sobre la producción de café (Coffea arabica L.) en Honduras*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Anton, A. (2013). *Evaluación de crecimiento inicial en tres especies del género Inga en sistema agroforestal*. Gandia, España: Universidad politécnica de Valencia.
- Arcila, J., Farfán, F., Moreno, A., Salazar, L., y Hincapié, E. (2007). *Sistemas de producción de café en Colombia*. (H. Ospina, y S. Marín, Edits.) Chinchiná, Colombia: CANICAFÉ.
- Arévalo, R., Bertoncini, E., y Aranda, E. (2011). *Alelopatía en Saccharum spp. (caña de azúcar)*. Colima, México: Avances en Investigación Agropecuaria, vol. 15, núm. 1, 2011, pp. 51-60.
- Asamblea Nacional Constituyente. (2008). *Constitución política de la República del Ecuador*. Montecristi, Ecuador.
- Avila, L., Murillo, W., Durango, E., Torres, F., Quiñones, W., y Echeverri, F. (2007). Efectos alelopáticos diferenciales de extractos de eucalipto. *Scientia et Technica*, 1(33), 203-204.
- Blanco, Y. (2006). *La utilización de la alelopatía y sus efectos en diferentes cultivos agrícolas*. La Habana, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.
- Blanco, Y., Hernández, I., Urra, I., y Leyva, Á. (2008). *Potencial alelopático de diferentes concentraciones de extractos de girasol (Helianthus annuus, L.), maíz (Zea mays L.), frijol (Phaseolus vulgaris, L.) y boniato (Ipomoea batata, L.) sobre el crecimiento y desarrollo inicial del frijol común (Phaseolus vu. Cultivos Tropicales*, 28(3), 5-9.
- Borrajo, C. (2006). *Importancia de la calidad de semillas*.
- Calvo, I. (2009). *Cultivo de Tomate de árbol*. San José, Costa Rica.

- Castillo, N. (2012). *Análisis del comportamiento del aliso *Alnus nepalensis* D. Don, asociado con *brachiaria Brachiaria decumbens* Staff y pasto miel *Setaria sphacelata* (Schumach) Staff & C. E. Hubb y pasturas en monocultivo*. Ibarra.
- CATIE. (2001). *Funciones y Aplicaciones de Sistemas Agroforestales*. (F. Jimenez, R. Muschler, y E. Kopsell, Edits.) Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Ceballos, Á., y López, J. (2007). *Conservación de la calidad de semillas forestales nativas en almacenamiento*. Cenicafé.
- Criollo, H., Lagos, T., y Narváez, R. (Junio de 2000). *Efectos alelopáticos de especies forestales sobre el vigor germinativo de semillas y el crecimiento inicial de *Cyphomandra betacea* (Tomate de árbol) y *Solanum quitoense* (Lulo)*. Revista de ciencias agrícolas, 17(1), 174-185.
- ESPASA. (2003). *Biología II* (Vol. 8). Colombia: Espasa Calpe, S. A.
- Fassio, A., Carriquiry, I., Tojo, C., y Romero, R. (1998). *Maíz: Aspectos sobre fenología*. Montevideo, Uruguay: Unidad de Difusión e Información Tecnológica del INIA.
- Fernandez, F., Geps, P., y López, M. (1986). *Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Gómez, M. (2004). *Estimación de la capacidad germinativa y el vigor de las semillas de diomate (*Astronium graveolens* Jacq.) sometidas a diferentes tratamientos y condiciones de almacenamiento*. Medellín, Colombia: Subdirección Territorial, Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia.
- Gonzales, A. (2002). *Fecundación y embriogénesis*. Recuperado el 2017 de enero de 29, de Morfología de plantas vasculares: <http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema24/24-5semilla.htm>
- Guacho, É. (2014). *Caracterización agro-morfológica del maíz (*Zea mays* L.) de la localidad San José de Chazo*. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Hernández, I., Urra, I., Díaz, L., Pérez, J., y Hernández, G. (2013). *Labranza mínima y efecto alelopático en la producción de frijol común en la Empresa Agropecuaria 19 de Abril de la provincia Mayabeque*. Mayabeque, Cuba: Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol22.
- Hispano-3000. (31 de diciembre de 2015). *La semilla*. Recuperado el 29 de enero de 2016, de [http://ayudahispano-3000.blogspot.com.es/2015/12/los-seres-vivos\\_94.html](http://ayudahispano-3000.blogspot.com.es/2015/12/los-seres-vivos_94.html)

- Imbaquingo, E., y Naranjo, D. (2010). *Comportamiento inicial de aliso (Alnus nepalensis D. Don) y cedro tropical (Acrocarpus fraxinifolius Wight & Arn), asociados con brachiaria (Brachiaria decumbens Stapf) y pasto miel (Setaria sphacelata(Schumach) Stapf & C.E. Hubb)*. Ibara, Ecuador: Universidad Técnica del Norte.
- Jarma, A., Angulo, A., Jaramillo, J., y Hernandez, J. (2004). Efecto alelopatico de extractos de crotalaria (*Crotalaria juncea L.*) y coquito (*Cyperus rotundus L.*) sobre malezas y cultivos anuales. *Temas Agrarios*, 9(2), 23-31.
- Kumar, M., Lakiang, J., & Gopichand, B. (2006). *Phytotoxic effects of agroforestry tree crops on germination and radicle growth of some food crops of Mizoram*. Mizoran: Department of Forestry, Mizoram University.
- Lorenzo, P., y Gonzáles, L. (2010). *Aleopatía: una característica ecofisiológica que favorece la capacidad invasora de las especies vegetales*. Alicante, España: Ecosistemas, vol. 19, núm. 1, enero-abril, 2010, pp. 79-91.
- Magnitskiy, S., y Plaza, G. (2007). Fisiología de semillas recalcitrantes de árboles tropicales. *Agronomía Colombiana*, 96-103.
- Maldonado, C., y Encalada, E. (2008). *Efectos alelopáticos del tomate riñon (Lycopersicon esculentum Mill) en condiciones de invernadero*. Cuenca, Ecuador: Universidad el Azuay.
- Maniega, I., Molero, R., Perea, A., y Pérez, R. (2009). Actividad alelopática de la cafeína en plántulas de trigo y lenteja. *Ambiociencias*, 4, 29-36.
- Mauli, M., Teixeira, A., Medina, D., Piccolo, G., Sommer, D., Malagutti, J., & Leszczynski, R. (2009). *Alelopátia de Leucena sobre soja e plantas invasoras*. Lodrina, Brasil: Semina.
- Mediavilla, F. (2016). *Propiedades físicas, químicas y de trabajabilidad de la madera de Alnus nepalensis D. Don en Intag, zona andina del Ecuador*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Megías, M., Molist, P., y Pombal, M. (2015). *Atlas de histología animal y vegetal*. Vigo: Departamento de Biología Funcional y Ciencias de la Salud. Facultad de Biología. Universidad de Vigo.
- Meza, K., Lépiz, R., López, J., y Morales, M. (2015). *Caracterización morfológica y fenológica de especies silvestres de frijol (Phaseolus)*. Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara.

- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2013). *Sistema de Clasificación de Ecosistemas del Ecuador Continental*. Quito: Subsecretaría de Patrimonio Natural .
- Mostacedo, B., y Fredericksen, T. (2000). *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología ambiental*. Santa Cruz de la Sierra: BOLFOR.
- Nasca, P. (2008). *La semilla*. Tucumán: Universidad Nacional de Tucumán.
- Oliveros, A. (Abril de 2008). El fenómeno alelopático. El concepto, las estrategias de estudio y su aplicación en la búsqueda de herbicidas naturales. *Química viva*(1), 6,7.
- Organero, A., y Gimeno , M. (s.f.). *Conceptos básicos de botánica*. Jardín Botánico. Org.
- Orwa, C., Kindt, R., Jamnadass, R., y Anthony, S. (2009). *Alnus nepalensis*. Kenia: Agroforestry data base.
- Ovando, J. (2012). *Selección de genotipos mejorados de tomate de árbol provenientes de semillas resistentes a antracnosis( Cythomandra betaceae)*. Sangolquí, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.
- Pacheco, A., & Pohlan, J. (2007). Intercropping aromatic plants with coffee (*Coffea arabica* L.) under greenhouse and field conditions. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 1(1), 95-102.
- PDOT Imbabura. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Imbabura 2015-2035*. Ibarra, Imbabura, Ecuador.
- PDOT, Cotacachi. (2015). *Actualización Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantón Santa Ana de Cotacachi 2015-2035*. Cotacachi.
- PDOT, Peñaherrera. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial GAD Parroquial Peñaherrera*. Cotacachi, Ecuador.
- Peralta, E., Mazón, N., Murillo, Á., y Pinzón, J. (2012). *Linea del tiempo Mejoramiento genético del fréjol común (Phaseolus vulgaris L.) en Ecuador*. Quito, Ecuador: INIAP.
- Pérez, F. (2001). *Conservación y caracterización de recursos fitogenéticos*. (F. González, & J. Pita, Edits.) Valladolid, España: I.N.E.A.
- Perez, F., y Pita , J. (2016). *Viabilidad, vigor, longevidad y conservación de las semillas*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Plantas y hongos. (s.f.). *Maíz*. Recuperado el 23 de mayo de 2017, de [http://www.plantasyhongos.es/herbarium/htm/Zea\\_mays.htm](http://www.plantasyhongos.es/herbarium/htm/Zea_mays.htm)

- Poore, M., y Fries, C. (1987). *Efectos ecológicos de los eucaliptos*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Poulsen, K. (2000). *Técnicas para la germinación de semillas forestales*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza-CATIE.
- Revelo, J., Pérez, E., y Maila, M. V. (2004). *Cultivo ecológico del tomate de árbol en el Ecuador*. Quito, Ecuador: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias.
- Rodríguez, I., Adam, G., y Durán, J. (2008). *Ensayos de germinación y análisis de viabilidad y vigor de semillas*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Rosero, M. (2008). *Crecimiento inicial de tres especies forestales con y sin asociado con maíz Zea Mays en el Colegio Fernando Chávez*. Ibarra, Ecuador: Universidad Técnica del Norte.
- Saavedra, G. (2013). *Producción de hortalizas para la República de Guinea Ecuatorial*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Sampietro, D. (2006). *Alelopatía*. San Miguel de Tucumán, Argentina.
- Sánchez, I. (2014). *Maíz (Zea mays)*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo . (2013). *Plan nacional del buen vivir*. Quito: (SEMPLADES).
- Souto, X., Gonzales, L., y Reigosa, M. (1993). Estudio de los efectos alelopáticos producidos por partes aéreas de distintas especies arbóreas (*Eucalyptus globulus*, *Acacia melanoxylon*, *Quercus robur*, *Pinus radiata*) en descomposición en el suelo. En C. F. Español, F. Silva, y G. Vega (Edits.), *Congreso Forestal Español: Lourizán 1993: Ponencias y Comunicaciones: Pontevedra, 14 Al 18 de Junio de 1993* (págs. 189-194). Lourizán, España: Xunta de Galicia.
- Stubsgaard, F. (1997). Almacenamiento de Semillas. En CATIE, *Secado, procesamiento y almacenamiento de semillas forestales* (pág. 95). Turrialba, Costa Rica.
- Temis, A., Lopez, A., y Sosa, E. (2011). *Producción de café (Coffea arabica L.): cultivo, beneficio, plagas y enfermedades*. Puebla: Universidad de las Américas.
- Ulloa, J., Rosas, P., Ramírez, C., y Ulloa, B. (2011). *El frijol (Phaseolus vulgaris): su importancia nutricional*. Nayarit.
- Uniyal, A., & Chhetri, S. (2010). *An Assessment of Phytotoxic Potential of Promising Agroforestry Trees on Germination and Growth Pattern of Traditional Field Crops of*

- Sikkim Himalaya, India*. Dehradun, India: College of agriculture Science and Technology.
- Valdez, D. (2004). *Efectos alelopáticos de árboles sombreadores sobre la germinación del café*. Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.
- Valladares, C. (2010). *Taxonomía y Botánica de los Cultivos de Grano*. La Ceiba, Honduras: Universidad Nacional Autónoma de Honduras.
- Willian, R. (2001). *Guía para la manipulación de semillas forestales*. FAO.
- Wordpress. (17 de junio de 2013). *Botánica general*. Recuperado el 23 de mayo de 2017, de <https://botanicageneraluabc.wordpress.com/2013/06/17/3/>
- Zuñiga, G., y Ruiz, B. (2015). *Alelopatía y plantas alelopáticas*. Universidad Nacional Pedro Luis Gallo.



## **LISTA DE ABREVIATURAS**

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES).

International Seed Testing Association (ISTA).

Poder germinativo (PG).

Día de inicio de la germinación (IG).

Tiempo medio de germinación (TMG).

Vigor germinativo (VG).

Instituto Nacional de Semillas de la República Argentina (INASE).

Plan Nacional del Buen Vivir (PNBV).

Instituto Hondureño del Café (IHCAFÉ).

Ministerio de Agricultura Ganadería Acuicultura y Pesca (MAGAP).

## GLOSARIO

**Alelopatía:** Efectos positivos o negativos sobre el crecimiento y desarrollo de una especie vegetal, provocados por la acción de metabolitos secundarios producidos por otra planta.

**Competencia:** Disminución en la disponibilidad de recursos debido a la utilización de los mismos por parte de una planta, los cuales a su vez son requeridos por otra especie vegetal.

**Lixiviación:** Remoción de sustancias presentes en una planta por acción de la lluvia.

**Volatilización:** Proceso mediante el cual una sustancia pasa del estado sólido al gaseoso.

**Exudados radiculares:** Compuestos orgánicos liberados por las plantas a través de la raíz.

**Vigor germinativo:** Velocidad de germinación, rapidez de la semilla para desarrollar una plántula normal.

**Endospermo:** Tejido con nutrientes de reserva que rodea al embrión en la semilla.

**Epigea:** Semilla en cuya germinación los cotiledones emergen del suelo.

**Hipogea:** Semilla en cuya germinación los cotiledones permanecen enterrados en el suelo.

**Ortodoxa:** Semilla con gran tolerancia a la deshidratación, hasta un 5% de contenido de humedad.

**Recalcitrante:** Semilla con moderada tolerancia a la deshidratación, entre 30 y 50 % de contenido de humedad.

# CAPÍTULO VII

## ANEXOS

### Anexo 1

### Ubicación del sitio

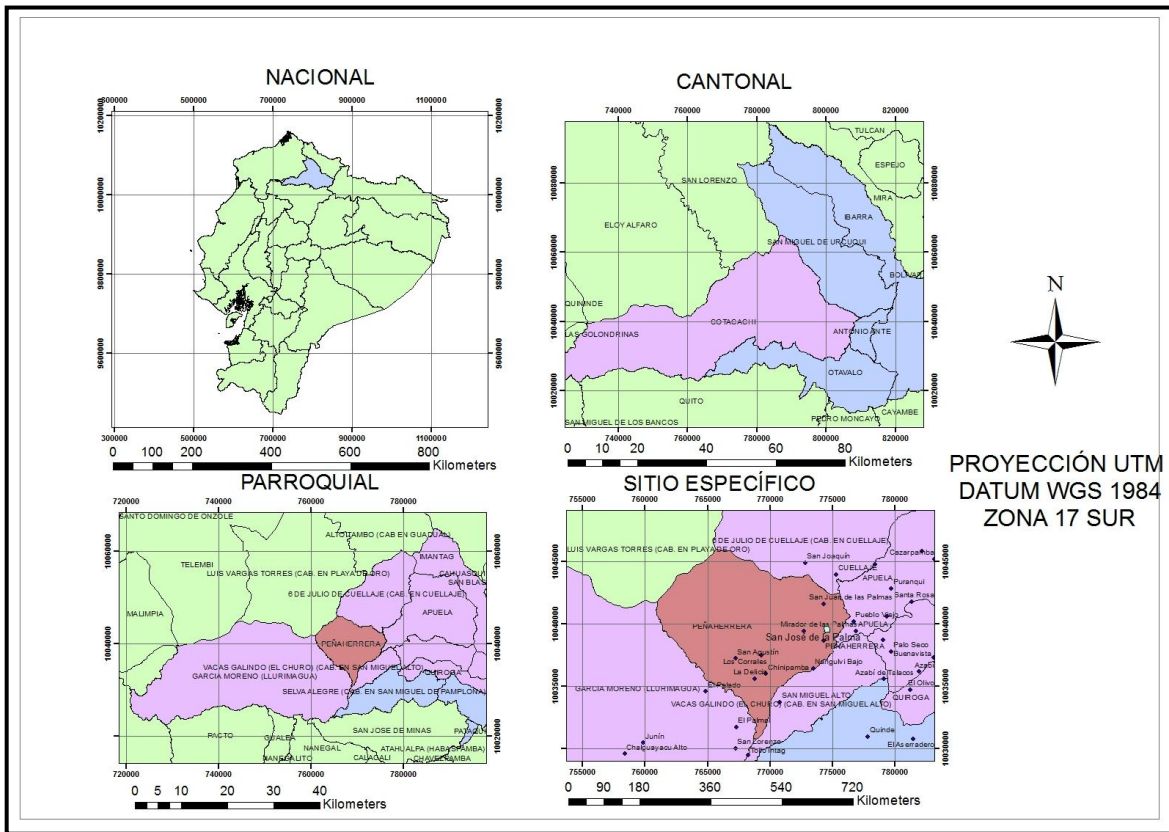


Figura 10. Ubicación del sitio de estudio.

Elaborado por: Guillermo David Varela Jácome

## Anexo 2

### ADEVAS

**Tabla 13**

*ADEVA del porcentaje de germinación del fréjol*

FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	SIG
Tratamientos	3	29,7	9,9	1,0	3,49	5,95	ns
Error	12	118,8	9,9				
Total	15	148,4					

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

**Tabla 14**

*ADEVA del porcentaje de germinación del maíz*

FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	SIG
Tratamientos	3	17,2	5,7	0,5	3,49	5,95	ns
Error	12	131,3	10,9				
Total	15	148,4					

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

**Tabla 15**

*ADEVA del porcentaje de germinación del café*

FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	SIG
Tratamientos	3	37,5	12,5	0,6	3,49	5,95	ns
Error	12	262,5	21,9				
Total	15	300,0					

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

**Tabla 16***ADEVA del porcentaje de germinación del tomate*

FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	SIG
Tratamientos	3	5592,2	1864,1	11,9	3,49	5,95	**
Error	12	1881,3	156,8				
Total	15	7473,4					

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome**Tabla 17***Prueba de DUNCAN del porcentaje de germinación del tomate*

PRUEBA DUNCAN			
TTT		93,75	A
TRT		72,5	B
TCT		71,25	B
THT		41,25	C

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome**Tabla 18***ADEVA del vigor germinativo del fréjol*

FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	SIG
Tratamientos	3	591440,2	197146,7	1,9	3,49	5,95	ns
Error	12	1227044,1	102253,7				
Total	15	1818484,3					

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

**Tabla 19***ADEVA del vigor germinativo del maíz*

FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	SIG
Tratamientos	3	100647,9	33549,3	0,8	3,49	5,95	ns
Error	12	524901,2	43741,8				
Total	15	625549,1					

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome**Tabla 20***ADEVA del vigor germinativo del café*

FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	SIG
Tratamientos	3	105009,5	35003,2	1,1	3,49	5,95	ns
Error	12	368759,4	30729,9				
Total	15	473768,9					

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome**Tabla 21***ADEVA del vigor germinativo del tomate*

FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	SIG
Tratamientos	3	266276,4	88758,8	11,3	3,49	5,95	**
Error	12	93848,5	7820,7				
Total	15	360124,9					

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

**Tabla 22***Prueba de DUNCAN del vigor germinativo del tomate*

PRUEBA DUNCAN		
TTT	351,015625	A
TRT	81,1221547	B
TCT	67,3263889	B
THT	23,2013889	B

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome**Tabla 23***ADEVA de la longitud radicular del maíz*

FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	SIG
Tratamientos	3	361,4	120,5	1,4	3,49	5,95	ns
Error	12	1026,3	85,5				
Total	15	1387,6					

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome**Tabla 24***ADEVA de la longitud radicular del café*

FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	SIG
Tratamientos	3	9,4	3,1	2,2	3,49	5,95	ns
Error	12	17,4	1,4				
Total	15	26,8					

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

**Tabla 25***ADEVA de la longitud radicular del fréjol*

FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	SIG
Tratamientos	3	1601,6	533,9	7,5	3,49	5,95	**
Error	12	851,6	71,0				
Total	15	2453,2					

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome**Tabla 26***Prueba de DUNCAN de la longitud radicular del fréjol*

PRUEBA DUNCAN			
THF		87,3635	A
TRF		81,51	A
TCF		80,936	A
TTF		60,9065	B

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome**Tabla 27***ADEVA de la longitud radicular del tomate*

FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	SIG
Tratamientos	3	834,3	278,1	15,5	3,49	5,95	**
Error	12	215,8	18,0				
Total	15	1050,1					

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome



**Tabla 28***Prueba de DUNCAN de la longitud radicular del tomate*

PRUEBA DUNCAN			
TTT	26,536	A	
TCT	14,9315	B	
TRT	10,5385	B	C
THT	7,54092857		C

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome**Tabla 29***ADEVA de la sobrevivencia del maíz*

FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	SIG
Tratamientos	3	162,50	54,17	0,43	3,49	5,95	ns
Error	12	1512,50	126,04				
Total	15	1675,00					

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome**Tabla 30***ADEVA de la sobrevivencia del fréjol*

FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	SIG
Tratamientos	3	379,69	126,56	1,70	3,49	5,95	ns
Error	12	893,75	74,48				
Total	15	1273,44					

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

**Tabla 31***ADEVA de la sobrevivencia del café*

FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	SIG
Tratamientos	3	267,19	89,06	1,16	3,49	5,95	ns
Error	12	918,75	76,56				
Total	15	1185,94					

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome**Tabla 32***ADEVA de la sobrevivencia del tomate de árbol*

FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	SIG
Tratamientos	3	1442,19	480,73	0,89	3,49	5,95	ns
Error	12	6493,75	541,15				
Total	15	7935,94					

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome**Tabla 33***ADEVA del diámetro basal del fréjol*

FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	SIG
Tratamientos	3	0,16	0,05	0,30	3,49	5,95	ns
Error	12	2,11	0,18				
Total	15	2,27					

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

**Tabla 34***ADEVA del diámetro basal del maíz*

FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	SIG
Tratamientos	3	7,51	2,50	2,99	3,49	5,95	ns
Error	12	10,05	0,84				
Total	15	17,55					

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome**Tabla 35***ADEVA del diámetro basal del café*

FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	SIG
Tratamientos	3	1,73	0,58	4,07	3,49	5,95	*
Error	12	1,70	0,14				
Total	15	3,44					

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome**Tabla 36***Prueba de DUNCAN del diámetro basal del café*

PRUEBA DUNCAN	
THC	2,33 A
TTC	1,71 B
TCC	1,54 B
TRC	1,53 B

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

**Tabla 37***ADEVA del Diámetro basal del tomate de árbol*

FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	SIG
Tratamientos	3	16,50	5,50	27,96	3,49	5,95	**
Error	12	2,36	0,20				
Total	15	18,87					

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome**Tabla 38***Prueba de DUNCAN del diámetro basal del tomate de árbol*

PRUEBA DUNCAN			
THT		4,07	A
TTT		1,99	B
TCT		1,75	B
TRT		1,54	B

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome**Tabla 39***ADEVA de la altura del maíz*

FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	SIG
Tratamientos	3	251,26	83,75	0,74	3,49	5,95	ns
Error	12	1358,25	113,19				
Total	15	1609,51					

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

**Tabla 40***ADEVA de la altura del fréjol*

FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	SIG
Tratamientos	3	66,95	22,32	2,31	3,49	5,95	ns
Error	12	116,15	9,68				
Total	15	183,10					

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome**Tabla 41***ADEVA de la altura del café*

FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	SIG
Tratamientos	3	50,47	16,82	6,90	3,49	5,95	**
Error	12	29,24	2,44				
Total	15	79,71					

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome**Tabla 42***Prueba de DUNCAN de la altura del café*

PRUEBA DUNCAN	
THC	10,8 A
TTC	8,06 B
TCC	6,82 B
TRC	6,17 B

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

**Tabla 43***ADEVA de la altura del tomate de árbol*

FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	SIG
Tratamientos	3	211,59	70,53	24,19	3,49	5,95	**
Error	12	34,99	2,92				
Total	15	246,57					

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome**Tabla 44***Prueba de DUNCAN de la altura del tomate de árbol*

PRUEBA DUNCAN			
THT		12,2	A
TTT		4,54	B
TCT		3,74	B
TRT		3,31	B

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome**Tabla 45***ADEVA del número de hojas del maíz*

FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	SIG
Tratamientos	3	1,86	0,62	1,13	3,49	5,95	ns
Error	12	6,62	0,55				
Total	15	8,48					

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

**Tabla 46***ADEVA del número de hojas del fréjol*

FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	SIG
Tratamientos	3	0,46	0,15	0,93	3,49	5,95	ns
Error	12	1,96	0,16				
Total	15	2,41					

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome**Tabla 47***ADEVA del número de hojas del café*

FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	SIG
Tratamientos	3	12,63	4,21	5,43	3,49	5,95	*
Error	12	9,31	0,78				
Total	15	21,94					

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome**Tabla 48***Prueba de DUNCAN del número de hojas del café*

PRUEBA DUNCAN			
THC	8,03	A	
TTC	7,25	A	B
TRC	6,13		B C
TCC	5,8		C

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

**Tabla 49***ADEVA del número de hojas del tomate de árbol*

FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	SIG
Tratamientos	3	9,59	3,20	8,66	3,49	5,95	**
Error	12	4,43	0,37				
Total	15	14,02					

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome**Tabla 50***Prueba de DUNCAN del número de hojas del tomate de árbol*

PRUEBA DUNCAN			
THT		5,00	A
TTT		3,76	B
TRT		3,30	B
TCT		2,96	B

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome



### Anexo 3

#### Evolución de las variables

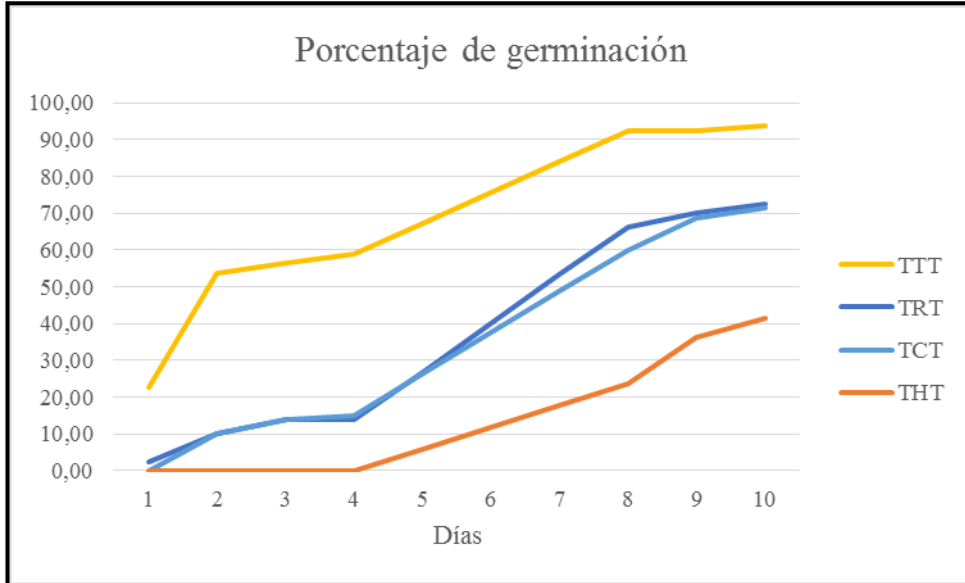


Gráfico 8. Evolución porcentaje de germinación del tomate de árbol  
Elaborado por: Guillermo David Varela Jácome

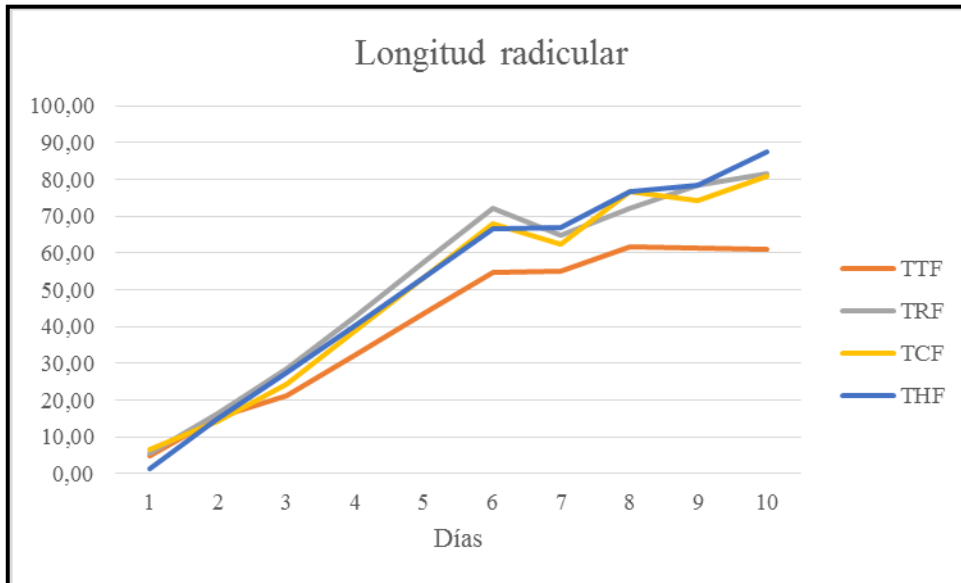


Gráfico 9. Evolución longitud radicular del fréjol  
Elaborado por: Guillermo David Varela Jácome

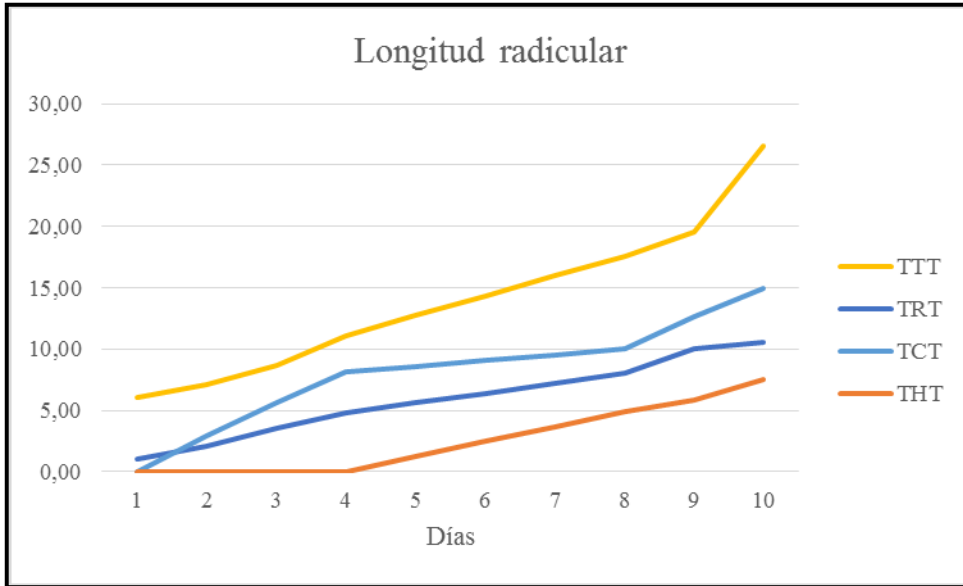


Gráfico 10. Evolución longitud radicular del tomate de árbol

Elaborado por: Guillermo David Varela Jácome

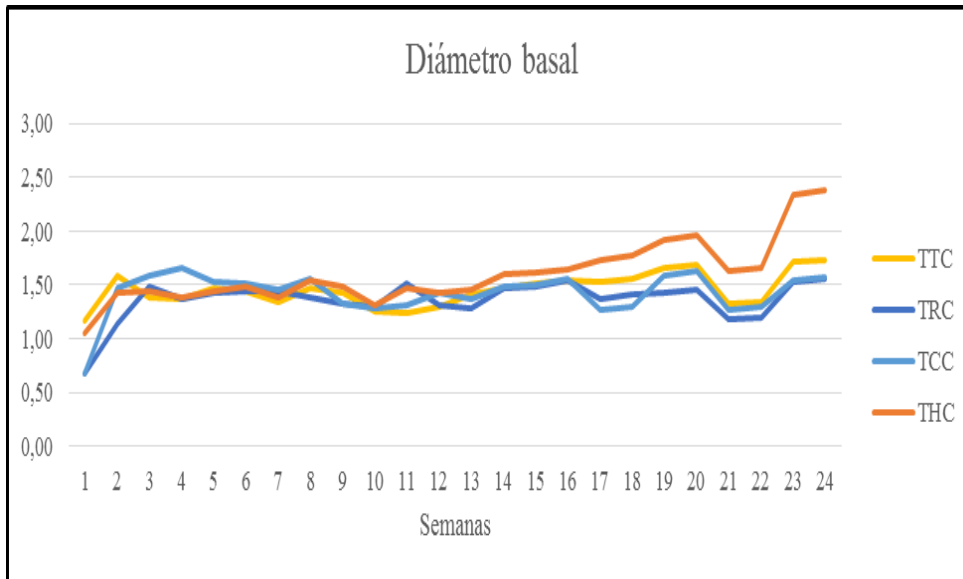


Gráfico 11. Evolución diámetro basal del café

Elaborado por: Guillermo David Varela Jácome

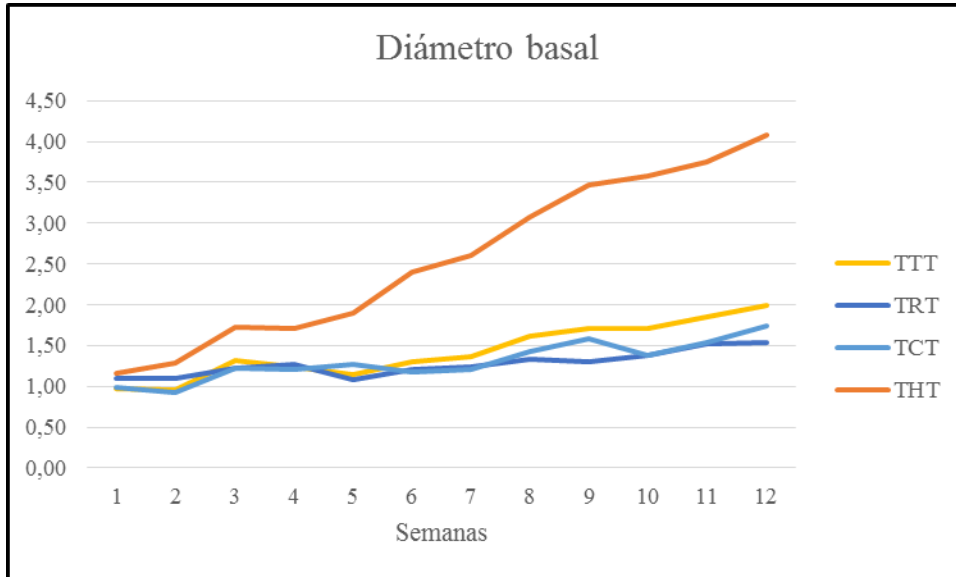


Gráfico 12. Evolución diámetro basal del tomate de árbol

Elaborado por: Guillermo David Varela Jácome

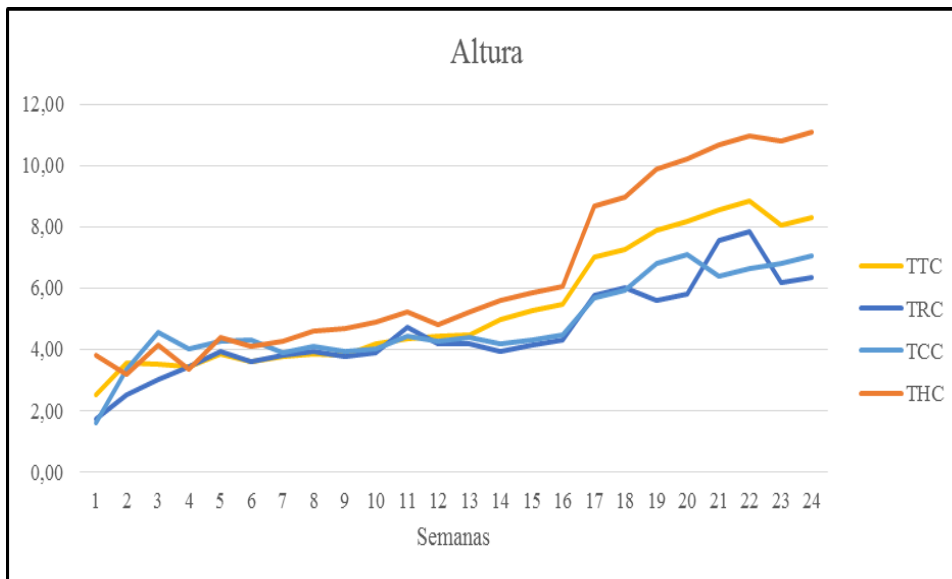


Gráfico 13. Evolución altura del café

Elaborado por: Guillermo David Varela Jácome

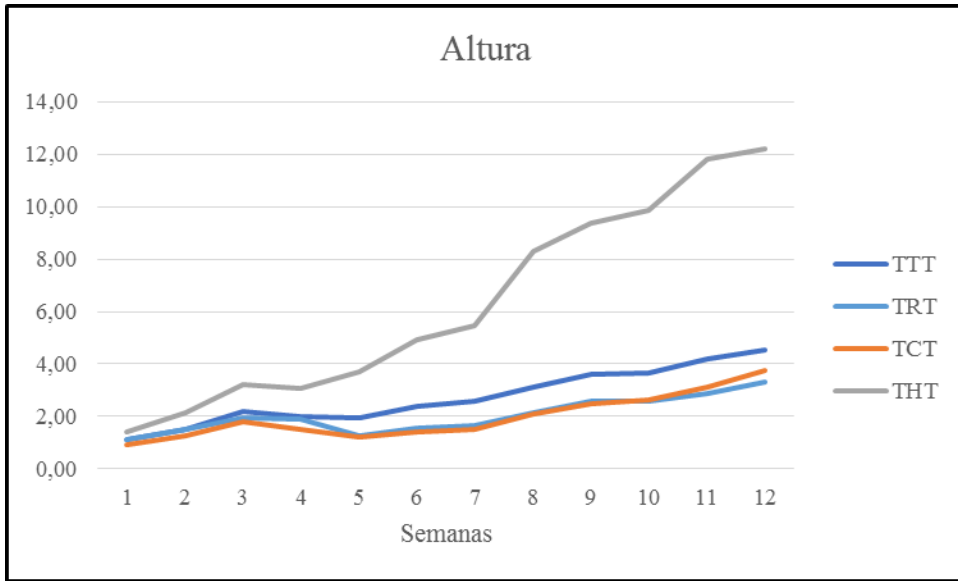


Gráfico 14. Evolución altura del tomate de árbol  
 Elaborado por: Guillermo David Varela Jácome

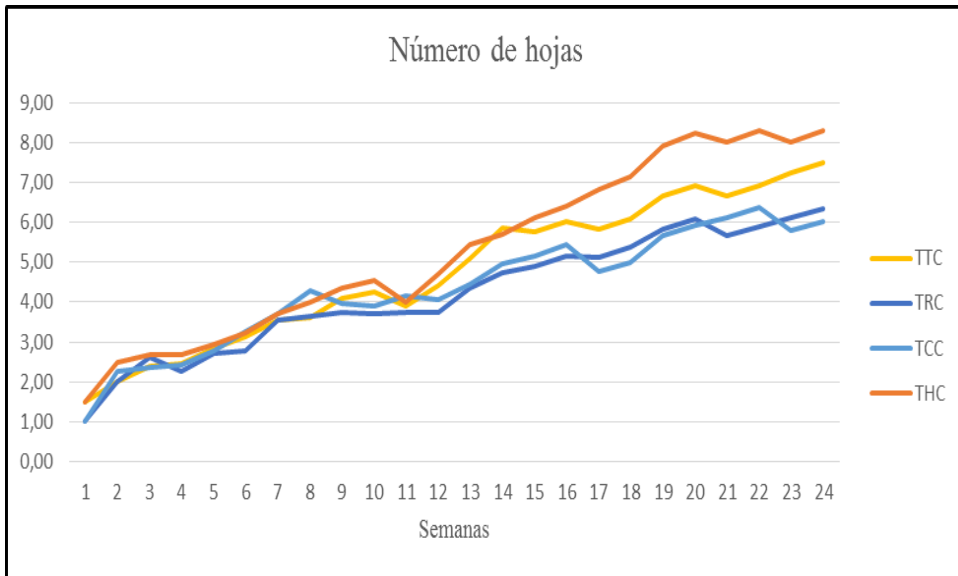


Gráfico 15. Evolución número de hojas del café  
 Elaborado por: Guillermo David Varela Jácome

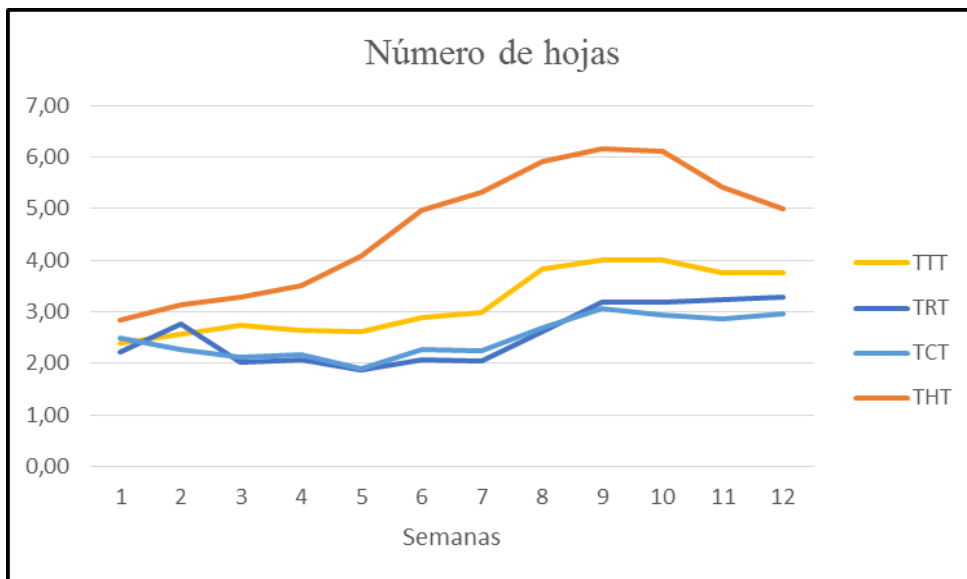


Gráfico 16. Evolución número de hojas del tomate de árbol

Elaborado por: Guillermo David Varela Jácome

#### Anexo 4

Tendencia de las variables del crecimiento inicial

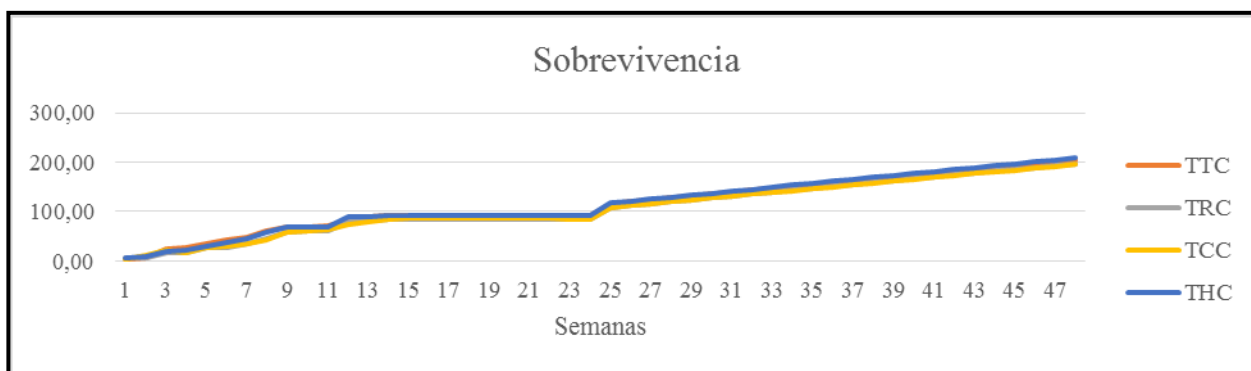


Gráfico 17. Tendencia sobrevivencia del café

Elaborado por: Guillermo David Varela Jácome

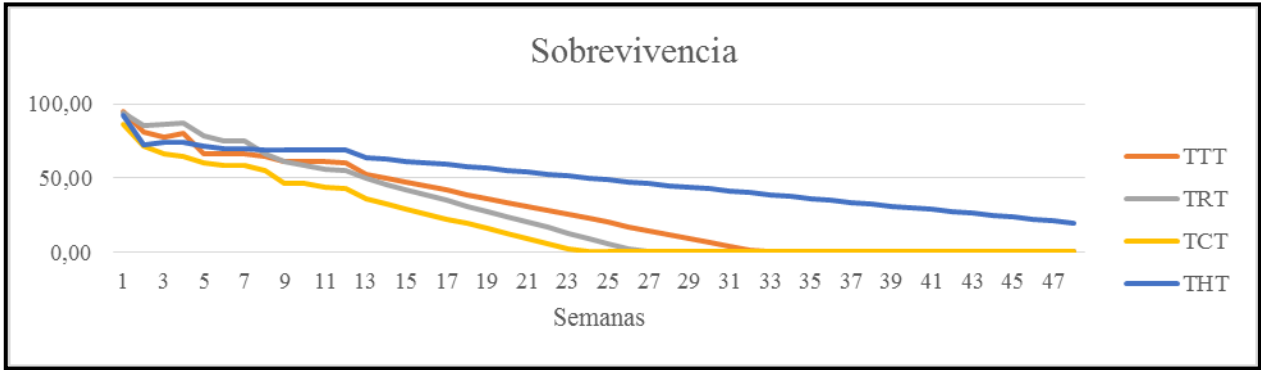


Gráfico 18. Tendencia sobrevivencia del tomate de árbol

Elaborado por: Guillermo David Varela Jácome

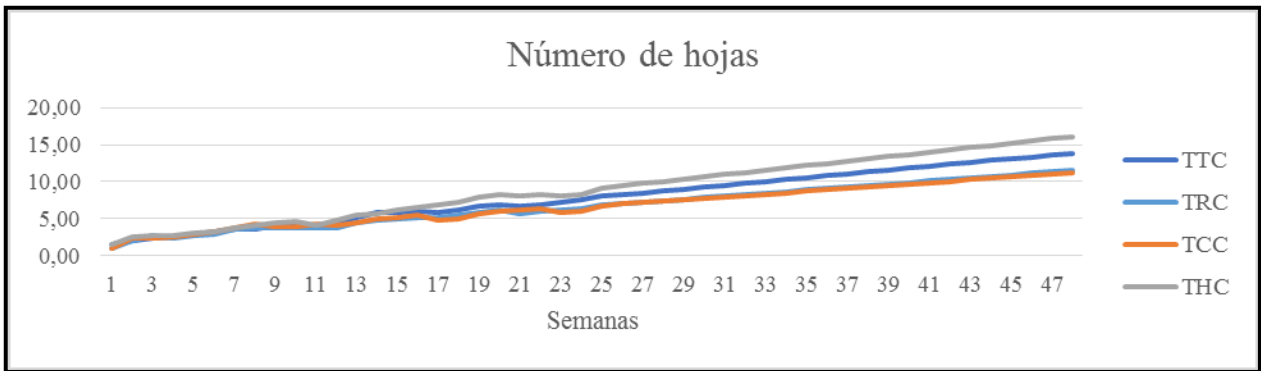


Gráfico 19. Tendencia número de hojas del café

Elaborado por: Guillermo David Varela Jácome

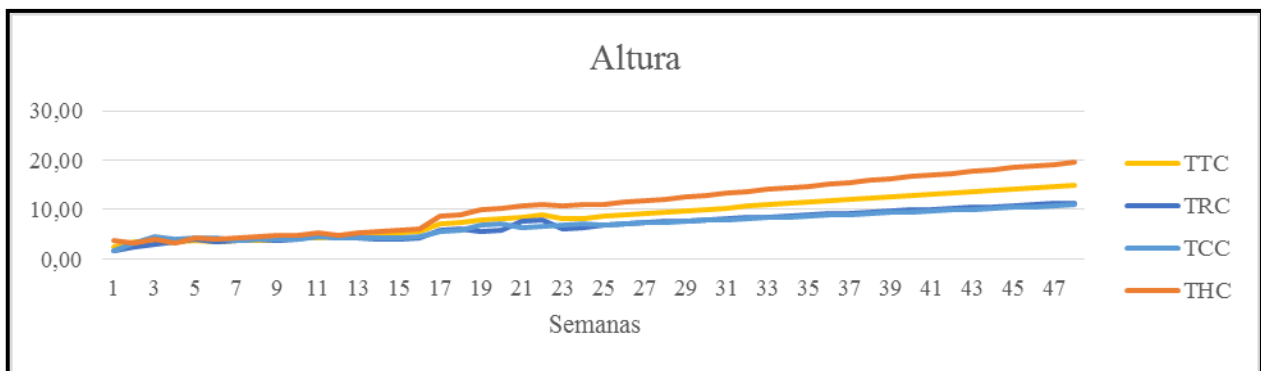


Gráfico 20. Tendencia altura del café

Elaborado por: Guillermo David Varela Jácome

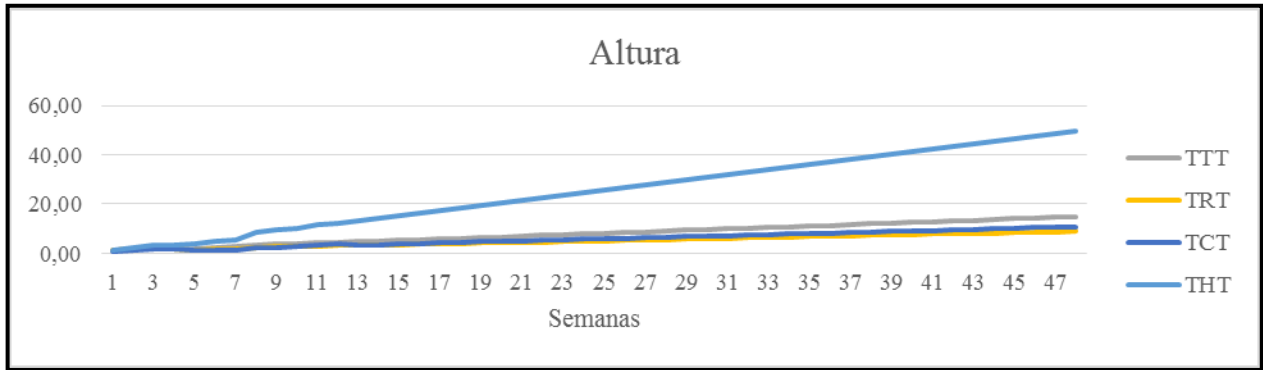


Gráfico 21. Tendencia altura del tomate de árbol  
 Elaborado por: Guillermo David Varela Jácome

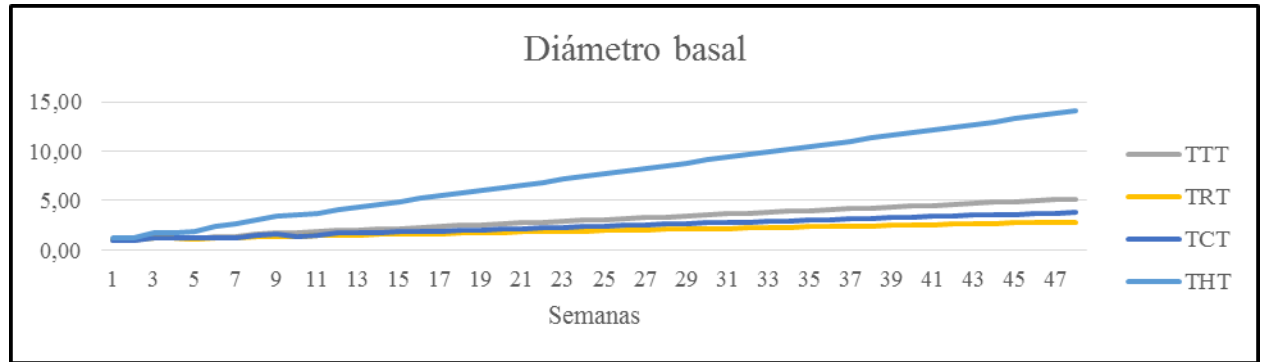


Gráfico 22. Tendencia diámetro basal del tomate de árbol  
 Elaborado por: Guillermo David Varela Jácome

## Anexo 5

Ecuaciones obtenidas aplicando el modelo de regresión lineal

**Tabla 51**

*Ecuaciones de regresión y coeficientes de determinación*

Especie	Variable	Tratamiento	Ecuación	Coficiente de determinación (R <sup>2</sup> %)	Ajuste
Café	Sobrevivencia	TTC	$y = 3,86x + 20,01$	81,85	Aceptable
		TRC	$y = 3,86x + 12,18$	84,52	Aceptable
		TCC	$y = 3,80x + 13,7$	84,55	Aceptable
		THC	$y = 3,98x + 18,06$	82,16	Aceptable
	Número de hojas	TTC	$y = 0,26x + 1,58$	97,83	Aceptable
		TRC	$y = 0,21x + 1,64$	95,98	Aceptable
		TCC	$y = 0,19x + 1,90$	91,91	Aceptable
		THC	$y = 0,30x + 1,49$	97,59	Aceptable
	Altura	TTC	$y = 0,27x + 2,00$	89,28	Aceptable
		TRC	$y = 0,19x + 2,19$	82,08	Aceptable
		TCC	$y = 0,17x + 2,70$	77,24	Aceptable
		THC	$y = 0,40x + 1,85$	87,45	Aceptable
	Diámetro basal	TTC	$y = 0,01x + 1,32$	27,29	No acepta.
		TRC	Correlación	No significativa	
		TCC	Correlación	No significativa	
		THC	$y = 0,03x + 1,17$	66,78	Medianamente aceptable
Tomate de árbol	Sobrevivencia	TTT	$y = -2,71x + 87,75$	80,75	Aceptable
		TRT	$y = -3,66x + 97,01$	96,07	Aceptable
		TCT	$y = -3,42x + 80,55$	91,64	Aceptable
		THT	$y = -1,27x + 80,53$	47,17	No aceptable
	Número de hojas	TTT	$y = 0,16x + 2,16$	81,18	Aceptable
		TRT	$y = 0,11x + 1,83$	51,70	No aceptable
		TCT	$y = 0,08x + 1,98$	54,26	No aceptable

Continúa.../...



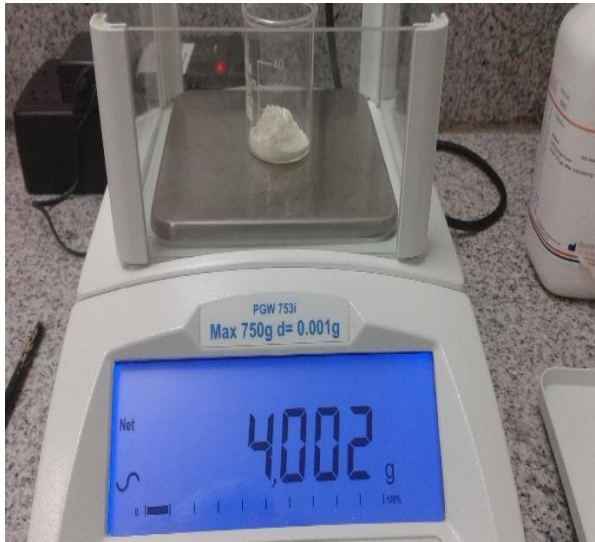
Continuación.../...

	Altura	THT	$y = 0,29x + 2,75$	74,07	Medianamente aceptable
		TTT	$y = 0,29x + 0,82$	95,60	Aceptable
		TRT	$y = 0,17x + 0,96$	77,45	Medianamente aceptable
		TCT	$y = 0,21x + 0,59$	80,23	Aceptable
		THT	$y = 1,04x - 0,50$	96,03	Aceptable
	Diámetro basal	TTT	$y = 0,09x + 0,84$	91,98	Aceptable
		TRT	$y = 0,04x + 1,03$	79,38	Medianamente aceptable
		TCT	$y = 0,06x + 0,91$	82,00	Aceptable
		THT	$y = 0,28x + 0,75$	98,31	Aceptable

**Elaborado por:** Guillermo David Varela Jácome

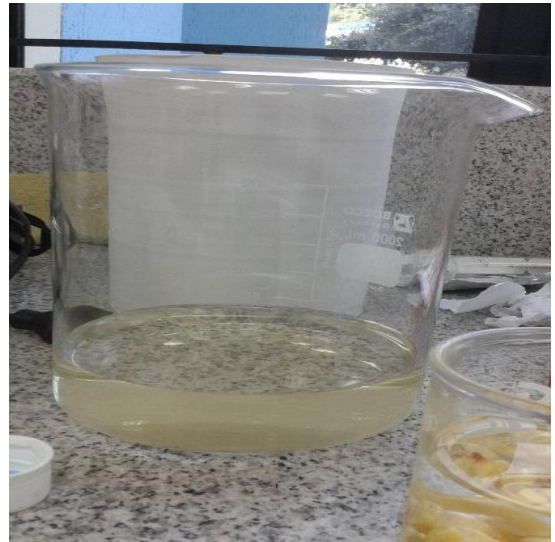
## Anexo 6

### Evidencia fotográfica



*Ilustración 1.* Pesaje de Tretazodio

**Fuente:** Guillermo David Varela Jácome



*Ilustración 2.* Solución de Tretazodio

**Fuente:** Guillermo David Varela Jácome



*Ilustración 3.* Establecimiento de la prueba de viabilidad

**Fuente:** Guillermo David Varela Jácome



*Ilustración 4.* Resultados de la prueba de viabilidad

**Fuente:** Guillermo David Varela Jácome



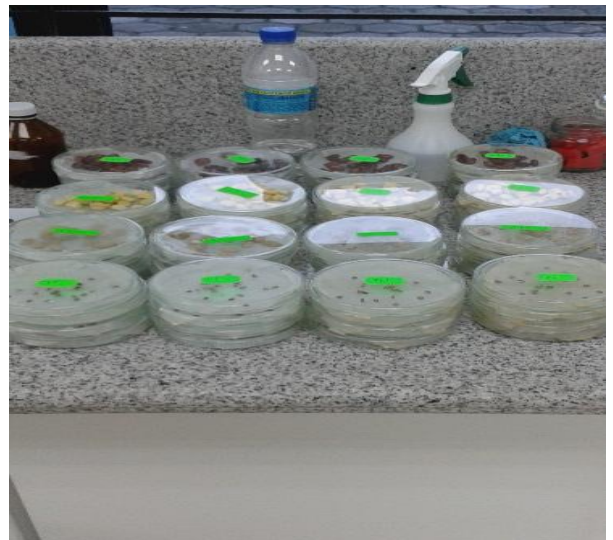
*Ilustración 5.* Pesaie del material vegetal  
**Fuente:** Guillermo David Varela Jácome



*Ilustración 6.* Disolución del material vegetal  
**Fuente:** Guillermo David Varela Jácome



*Ilustración 7* Extractos acuosos del material vegetal  
**Fuente:** Guillermo David Varela Jácome



*Ilustración 8.* Distribución de los tratamientos  
**Fuente:** Guillermo David Varela Jácome



*Ilustración 9.* Germinación de las semillas  
**Fuente:** Guillermo David Varela Jácome



*Ilustración 10.* Medición de las variables  
**Fuente:** Guillermo David Varela Jácome



*Ilustración 11.* Preparación del sustrato  
**Fuente:** Guillermo David Varela Jácome



*Ilustración 12.* Preparación de los micro semilleros  
**Fuente:** Guillermo David Varela Jácome



*Ilustración 13.* Llenado de fundas  
**Fuente:** Guillermo David Varela Jácome



*Ilustración 14.* Estructura de protección  
**Fuente:** Guillermo David Varela Jácome



*Ilustración 15.* Germinación del fréjol  
**Fuente:** Guillermo David Varela Jácome



*Ilustración 16.* Rebique del tomate de árbol  
**Fuente:** Guillermo David Varela Jácome



*Ilustración 17.* Crecimiento del maíz y del fréjol  
**Fuente:** Guillermo David Varela Jácome



*Ilustración 18.* Crecimiento del tomate de árbol  
**Fuente:** Guillermo David Varela Jácome



*Ilustración 19.* Crecimiento del café  
**Fuente:** Guillermo David Varela Jácome



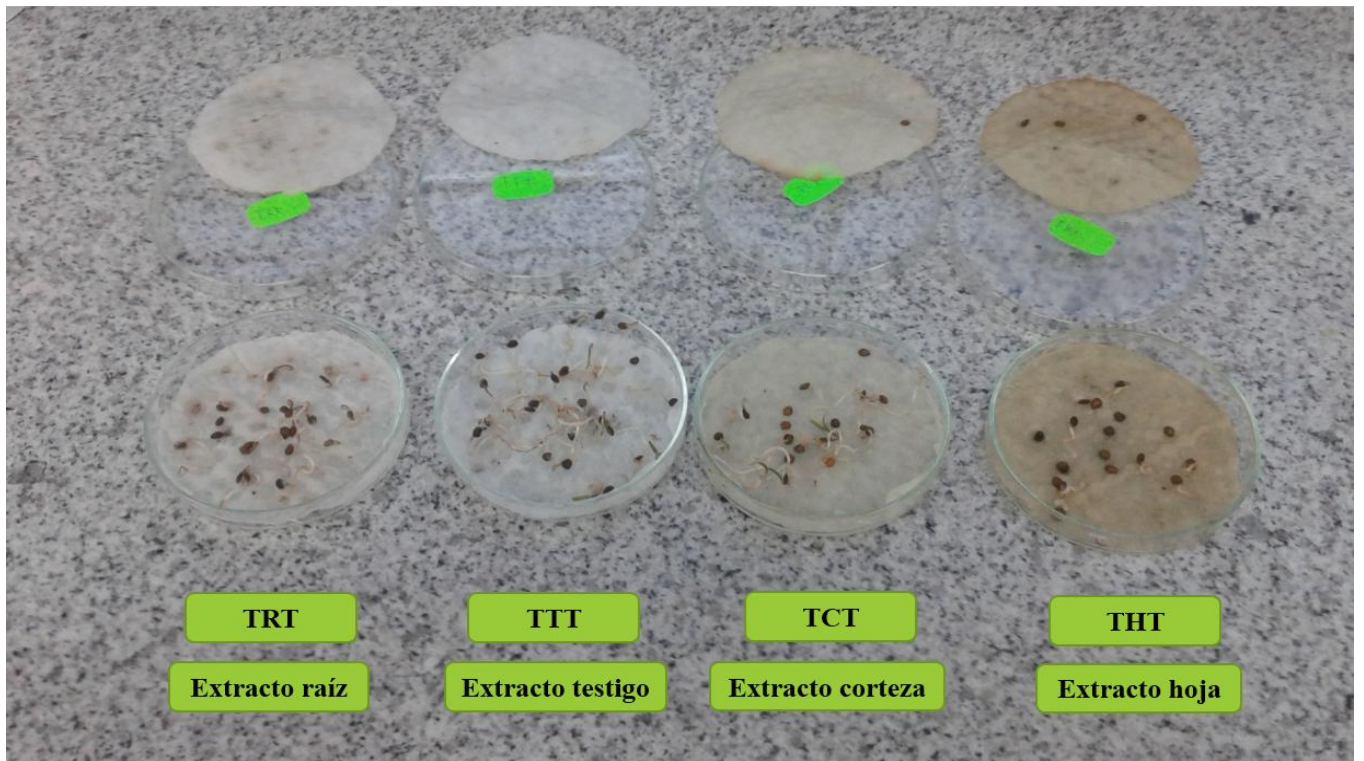
*Ilustración 20.* Medición de las variables  
**Fuente:** Guillermo David Varela Jácome



*Ilustración 21. Visita de campo*  
**Fuente:** Guillermo David Varela Jácome



*Ilustración 22. Visita de campo*  
**Fuente:** Guillermo David Varela Jácome



*Ilustración 23. Comparación entre los tratamientos del tomate de árbol en el laboratorio*  
**Fuente:** Guillermo David Varela Jácome



Ilustración 24. Comparación entre los tratamientos del tomate de árbol en el campo

Fuente: Guillermo David Varela Jácome



Ilustración 25. Comparación entre los tratamientos del café en el campo

Fuente: Guillermo David Varela Jácome