



# **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**

**EFEECTO DE DOS TIPOS DE FERTILIZANTES EN EL CRECIMIENTO  
INICIAL DE UN SISTEMA AGROFORESTAL CON *Alnus nepalensis* D.  
DON Y *Coffea arabica* L. EN EL SECTOR SAN ANTONIO, PARROQUIA  
DE APUELA ZONA DE INTAG**

**AUTOR**

Benavides Sánchez Willian Damian

**DIRECTOR**

Ing. Carrión Burgos Andrés Manolo, Mgs.

**IBARRA-ECUADOR**

2021

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

EFFECTO DE DOS TIPOS DE FERTILIZANTES EN EL CRECIMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA AGROFORESTAL CON *Alnus nepalensis* D. DON Y *Coffea arabica* L. EN EL SECTOR SAN ANTONIO, PARROQUIA DE APUELA ZONA DE INTAG

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. Andrés Carrión, Mgs.  
**Director de trabajo de titulación**

Ing. Hugo Paredes, Mgs.  
**Tribunal de trabajo de titulación**

Ing. Gabriel Carvajal, Mgs.  
**Tribunal de trabajo de titulación**



Ibarra – Ecuador

2021



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A

### FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1004134670		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Benavides Sánchez Willian Damian		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Pablo Arenas		
<b>EMAIL:</b>	<a href="mailto:wdbenavidess@utn.edu.ec">wdbenavidess@utn.edu.ec</a>		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	2683-127	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	095 942 2050

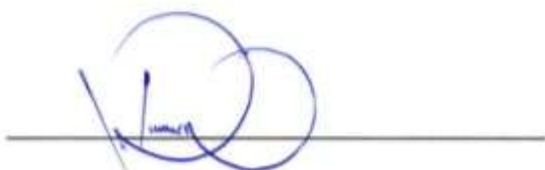
DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	Efecto de dos tipos de fertilizantes en el crecimiento inicial de un sistema agroforestal con <i>Alnus nepalensis</i> D. Don y <i>Coffea arabica</i> L. en el sector San Antonio, parroquia de Apuela zona de Intag
<b>AUTOR/A:</b>	Benavides Sánchez Willian Damian
<b>FECHA: (dd/mm/aaaa)</b>	16 de agosto de 2021
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
<b>PROGRAMA:</b>	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero Forestal
<b>DIRECTOR:</b>	Ing. Andrés Carrión, Mgs.

## 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 esta y saldrán en defensa la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 16 días del mes de agosto de 2021

## EI AUTOR



Benavides Sánchez Willian Damian

**REGISTRO BIBLIOGRÁFICO**

**Guía:** XXXXX, FICAYA - UTN

**Fecha:** 16 de agosto de 2021

XXXXX XXXXX XXXX XXXX: **EFFECTO DE DOS TIPOS DE FERTILIZANTES EN EL CRECIMIENTO INICIAL DE UN SISTEMA AGROFORESTAL CON *Alnus nepalensis* D. DON Y *Coffea arabica* L. EN EL SECTOR SAN ANTONIO, PARROQUIA DE APUELA ZONA DE INTAG.** /Trabajo de titulación. Ingeniero Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal. Ibarra, 96 páginas.

**DIRECTOR:** Ing. Andrés Manolo Carrión Burgos Mgs.

El objetivo principal de la presente investigación fue: Evaluar el efecto de dos tipos de fertilizantes en el crecimiento inicial de un sistema agroforestal con *Alnus nepalensis* D. DON y *Coffea arabica* L. Entre los objetivos específicos se encuentran: Determinar el tipo fertilizante que tenga mayor influencia en el crecimiento inicial de aliso y café y analizar los costos de establecimiento del sistema agroforestal.

**Fecha:** 16 de agosto de 2021



Ing. Andrés Manolo Carrión Burgos, Mgs.  
**Director de trabajo de titulación**



Willian Damian Benavides Sánchez  
**Autor**

**DEDICATORIA**

A mi madre, por brindarme un futuro diferente y demostrarme que con disciplina y orden puedo actuar perseverantemente para cumplir mis metas, además por ofrecerme todo su consentimiento y confiar en mí. A mi padre y hermano por ser fuente de inspiración y empeñarse en darme lo mejor. A mis abuelos, por transmitirme sabiduría, experiencias, valores y humildad. Y a mis amigos y compañeros quienes han sido un soporte emocional importante durante toda mi etapa universitaria.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Charles R. Venator director del Proyecto Silvopastura de los Andes por haber financiado el presente trabajo. Además, quién con su gran experiencia y conocimiento me ha transmitido la importancia de promover alternativas sostenibles para disminuir la invasión del bosque primario.

También quiero agradecer al Sr. Julio de la Cruz y su familia por apoyarme y permitirme hacer uso de su terreno durante el desarrollo de esta investigación.

De igual manera agradezco infinitamente a todos mis maestros de la escuela, colegio y universidad, en especial al Ing. Andrés Carrión, Ing. Hugo Paredes y al Ing. Gabriel Carvajal por ser parte de esta formación académica y brindarme la gran oportunidad de ser parte de este proyecto. Y toda mi gratitud al Lcdo. Estuardo Báez, la Lcda. Narcisa Quintana y toda su familia por su apoyo incondicional.

**LISTA DE SIGLAS**

**CODA.** Código Orgánico del Ambiente

**MAG.** Ministerio de Agricultura y Ganadería

**IICA.** Instituto Interno Americano de Cooperación para la Agricultura

**INAMHI.** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – Ecuador.

**PIB.** Producto Interno Bruto

**SAF.** Sistemas Agroforestales

**SIPA.** Sistema de Información Pública Agropecuaria del Ecuador



## ÍNDICE DE CONTENIDO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	i
APROBADO.....	ii
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE .....	iii
REGISTRO BIBLIOGRÁFICO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTOS .....	vii
LISTA DE SIGLAS .....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
CAPÍTULO I .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Problema de investigación.....	1
1.2 Justificación .....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 General.....	3
1.3.2 Específicos.....	4
1.4 Hipótesis .....	4
CAPÍTULO II .....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Fundamentación legal.....	5
2.1.1 Constitución de la República de Ecuador (2008) .....	5

2.1.2	Tratados internacionales .....	5
2.1.3	Código orgánico del Ambiente (CODA).....	5
2.1.4	Leyes Orgánicas .....	6
2.1.5	Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021.....	6
2.1.6	Línea de investigación .....	7
2.1.7	Códigos de ética en el proceso de investigación .....	7
2.2	Fundamentación teórica.....	7
2.2.1	Sistemas agroforestales.....	7
2.2.2	Diseño de sistemas agroforestales .....	9
2.2.3	Estructura del sistema.....	11
2.2.4	Interacciones dentro del sistema.....	13
2.3	Fertilizantes .....	15
2.3.1	Importancia.....	15
2.3.2	Tipos de fertilizantes .....	16
2.3.3	Absorción de los elementos nutritivos por las plantas .....	16
2.3.4	Nitrógeno, fósforo y potasio; funciones en las plantas.....	18
2.3.5	Deficiencia de N,P y K en el cafeto.....	19
2.3.6	Fertilización de especies prioritarias .....	19
2.4	Plagas y enfermedades en el cafeto .....	21
2.4.1	Roya.....	21
2.4.2	Barrenador de la baya del café .....	22
2.4.3	Minador de hoja.....	22
2.4.4	Muerte descendente .....	22

CAPÍTULO III.....	23
MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	23
3.1 Ubicación del sitio.....	23
3.1.1 Política.....	23
3.1.2 Geográfica.....	23
3.1.3 Linderos.....	23
3.1.4 Datos biofísicos y climáticos.....	23
3.2 Materiales, equipos, insumos y software.....	24
3.3 Diseño experimental.....	24
3.3.1 Aliso.....	24
3.3.2 Café.....	25
3.4 Manejo específico el experimento.....	27
3.4.1 Obtención del material vegetal.....	27
3.4.2 Delimitación del sitio.....	27
3.4.3 Limpieza general.....	27
3.4.4 Análisis de suelo.....	27
3.4.5 Señalización y marcación.....	27
3.4.6 Apertura de hoyos.....	28
3.4.7 Plantación y siembra.....	28
3.5 Manejo del sistema agroforestal.....	29
3.5.1 Sombra.....	29
3.5.2 Fertilización.....	29
3.6 Variables a medir y recopilación de datos.....	29

3.6.1	Variables cuantitativas.....	29
3.6.2	Variables cualitativas.....	31
3.7	Costos de establecimiento del sistema agroforestal .....	32
CAPÍTULO IV.....		34
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		34
4.1	Crecimiento inicial de <i>A. nepalensis</i> .....	34
4.1.1	Sobrevivencia .....	34
4.1.2	Altura total.....	35
4.1.3	Diámetro basal.....	36
4.1.4	Altura de copa.....	38
4.1.5	Estado fitosanitario.....	39
4.1.6	Morfología.....	40
4.2	Crecimiento inicial de <i>C. arabica</i> .....	41
4.2.1	Sobrevivencia .....	41
4.2.2	Altura total.....	42
4.2.3	Diámetro basal.....	44
4.2.4	Altura de copa.....	45
4.2.5	Estado fitosanitario.....	46
4.3	Porcentaje de sombra de los cultivos complementarios .....	46
4.3.1	Maíz.....	46
4.3.2	Plátano .....	47
4.4	Costo de establecimiento del sistema agroforestal .....	47
CAPÍTULO V.....		50

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	50
5.1 Conclusiones.....	50
5.2 Recomendaciones .....	50
CAPÍTULO VI.....	51
REFERENCIAS.....	51
CAPÍTULO VII .....	69
ANEXOS .....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Condiciones agroecológicas para el cultivo de café arábigo .....	10
<b>Tabla 2.</b> Arreglos espaciales para el establecimiento de cafetales u otras especies.....	11
<b>Tabla 3.</b> Interacciones sinérgicas y antagónicas presentes en sistemas agroforestales.....	14
<b>Tabla 4.</b> Funciones de las especies seleccionadas dentro del sistema .....	15
<b>Tabla 5.</b> Factores que influyen en el transporte y absorción de nutrientes por las plantas .....	17
<b>Tabla 6.</b> Niveles óptimos de nutrientes en el suelo para el cultivo de café .....	20
<b>Tabla 7.</b> Materiales, equipos, insumos y software utilizados en la investigación.....	24
<b>Tabla 8.</b> Factores y niveles de estudio para el análisis estadístico de <i>C. arabica</i> .....	25
<b>Tabla 9.</b> Codificación y nombre de los tratamientos propuestos para el análisis estadístico de café .....	26
<b>Tabla 10.</b> Criterios para evaluar el estado fitosanitario de <i>A. nepalensis</i> y <i>C. arabica</i> .....	31
<b>Tabla 11.</b> Formas de fustes para evaluar la morfología de <i>A. nepalensis</i> .....	32
<b>Tabla 12.</b> Análisis estadístico de la altura total luego de la aplicación de dos tipos de fertilizantes; químico (AQ) y orgánico (AO).....	35
<b>Tabla 13.</b> Análisis estadístico del diámetro basal luego de la aplicación de dos tipos de fertilizantes; químico (AQ) y orgánico (AO).....	37
<b>Tabla 14.</b> Análisis estadístico de la altura de copa luego de la aplicación de dos tipos de fertilizantes; químico (AQ) y orgánico (AO).....	38
<b>Tabla 15.</b> Análisis no paramétrico del estado fitosanitario de <i>A. nepalensis</i> en función de los tratamientos aplicados; químico (AQ) y orgánico (AO).....	40
<b>Tabla 16.</b> Análisis no paramétrico de la morfología de <i>A. nepalensis</i> en función de los tratamientos aplicados; químico (AQ) y orgánico (AO) .....	41

<b>Tabla 17.</b> Análisis estadístico de la altura total de <i>C. arabica</i> luego de la aplicación de dos tipos de fertilizantes; químico y orgánico.....	43
<b>Tabla 18.</b> Análisis estadístico del diámetro basal de <i>C. arabica</i> luego de la aplicación de dos tipos de fertilizantes; químico y orgánico.....	45
<b>Tabla 19.</b> Análisis estadístico de la altura de copa de <i>C. arabica</i> luego de la aplicación de dos tipos de fertilizantes; químico y orgánico.....	45
<b>Tabla 20.</b> Análisis no paramétrico del estado fitosanitario de <i>C. arabica</i> luego de la aplicación de dos tipos de fertilizantes; químico y orgánico .....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Clasificación de los sistemas agroforestales .....	8
<b>Figura 2.</b> Distribución de tratamientos aplicados a <i>C. arabica</i> dentro de los bloques .....	26
<b>Figura 3.</b> Esquema estructural del sistema agroforestal propuesto.....	28
<b>Figura 4.</b> Supervivencia y mortalidad de <i>A. nepalensis</i> luego de 12 meses de evaluación .....	34
<b>Figura 5.</b> Altura total de <i>A. nepalensis</i> después de la aplicación de dos tipos de fertilizante; químico (AQ) y orgánico (AO).....	39
<b>Figura 6.</b> Supervivencia y mortalidad de los tratamientos aplicados a las plantas de <i>C. arabica</i> durante 12 meses de evaluación.....	42
<b>Figura 7.</b> Comportamiento de la muerte descendente según los tratamientos aplicados a <i>C. arabica</i> , en función de las mediciones realizadas .....	44
<b>Figura 8.</b> Comportamiento de los ingresos netos de café y aliso, así como la suma de los costos de mano de obra, insumos y transporte.....	49



## RESUMEN

Uno de los factores que limitan el crecimiento de las plantas es la deficiencia de macro y microelementos en el suelo. En este estudio se evaluó el efecto de dos tipos de fertilizante; químico (roca fosfórica y fosfato di amónico) y orgánico (champiñonaza), en el crecimiento inicial de un sistema agroforestal con *Alnus nepalensis* D. Don y *Coffea arabica* L. para determinar qué tipo de fertilizante tiene mayor influencia. Puesto que, el uso de fertilizantes es uno de los principales insumos para mejorar la producción agrícola. Mientras que los sistemas agroforestales diversifican los ingresos del agricultor y promueven la gestión sostenible del suelo. En *A. nepalensis* se empleó una prueba de t con dos tratamientos; 60 g/planta de roca fosfórica (AQ) y 500 g/planta de champiñonaza (AO). Y en *C. arabica* un diseño experimental en bloques al azar con cinco tratamientos; 40 g/planta de roca fosfórica (CQD<sub>1</sub>), 55 g/planta de fosfato di amónico (CQD<sub>2</sub>), 1000 y 2000 g/planta de champiñonaza (COD<sub>1</sub>, COD<sub>2</sub>) y un testigo sin la aplicación de fertilizante (C<sub>T</sub>), con cuatro repeticiones. El crecimiento se midió en altura total (desde la base hasta el ápice), altura de copa (desde la primera rama hasta la yema terminal), sobrevivencia, diámetro basal, estado fitosanitario y morfología, durante 12 meses. La aplicación de los tipos de fertilizantes no influyó significativamente en el crecimiento inicial de *A. nepalensis* y *C. arabica*. El análisis de costos indica que el establecimiento de un sistema agroforestal con estas especies puede ser una alternativa económica rentable para el agricultor.

**Palabras clave:** Árboles de sombra, crecimiento inicial, costo/beneficio, fertilización fosfórica, sistemas agroforestales.

## ABSTRACT

One of the factors that limit plant growth is the deficiency of macro and microelements in the soil. In this study was evaluated the effect of two types of fertilizer; chemical (rock phosphate and di ammonium phosphate) and organic (champiñonaza), in the initial growth of an agroforestry system with *Alnus nepalensis* D. Don and *Coffea arabica* L. to determine which type of fertilizer has the greatest influence. Since the use of fertilizers is one of the main inputs to improve agricultural production. While agroforestry systems diversify farmer income and promote sustainable soil management. In *A. nepalensis* was used a t test with two treatments; 60 g / plant of phosphate rock (AQ) and 500 g / plant of mushroom (AO). And in *C. arabica* an experimental design in randomized blocks with five treatments; 40 g / plant of phosphoric rock (CQD1), 55 g / plant of di ammonium phosphate (CQD2), 1000 and 2000 g / plant of champiñonaza (COD1, COD2) and a control without the application of fertilizer (CT), with four repetitions. The growth was measured in total height (from the base to the apex), crown height (from the first branch to the terminal bud), survival, basal diameter, phytosanitary status and morphology, during 12 months. The application of the types of fertilizers did not significantly influence the initial growth of *A. nepalensis* and *C. arabica*. The cost analysis indicates that the establishment of an agroforestry system with these species can be a profitable economic alternative for the farmer.

**Keywords:** Shade trees, early growth, cost / benefit, phosphoric fertilization, agroforestry systems.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Problema de investigación

Los sistemas agroforestales son formas de gestión del suelo, donde se cultivan árboles en combinación con cultivos o pastos (Cardinael *et al.*, 2017) para desarrollar una forma más sostenible de uso de la tierra (Leakey, 2017). En el área de este estudio; San Antonio, Intag es común encontrar árboles de sombra o maderables en asociación con cultivos perennes, tales como, aliso y café. En el valle de Intag *Alnus nepalensis* es una especie de rápido crecimiento que, para los agricultores de la zona, hace de los sistemas de producción agrícola, ganaderos y silvícolas, sostenibles, figura una alternativa económica importante (Añazco, et al., 2018), tiene la capacidad biológica de fijar nitrógeno, representa el 100% del volumen de madera proveniente de la zona y está dentro de las especies que más se aprovechan en Imbabura (Tituaña y Nicolalde, 2019).

Por otro lado, la producción, procesamiento y comercialización de café han convertido a esta actividad en una de las más significativas de Intag (IICA, 2013). Para el Ecuador el cultivo de café ha sido de gran importancia económica, social y ambiental (Ponce et al, 2018). Según el Banco Central del Ecuador en 2019 el cultivo de café contribuyó en 1,4 % al Valor Agregado Bruto (VAB), ha vinculado el 12,5 % de las Unidades de Producción Agrícola (INEC, 2016) y es una de las bebidas más consumidas en el mundo, con un constante aumento a una tasa media anual del 3,5% (Organización Internacional del Café, 2019; Loong *et al.*, 2019).

Pese a ello, un problema relevante que enfrenta la caficultura ecuatoriana es la baja producción (Duicela, 2016). De acuerdo con Piato *et al.* (2020) el cambio climático y la disminución de ingresos de los productores de café son factores que amenazan la productividad

del mismo. Mientras que para Bedoya y Salazar (2014) las variables que más influyen en la producción de café son la densidad de siembra, edad de la plantación, variedad, condiciones agroclimáticas y fertilización.

El cultivo de cafeto en sistemas agroforestales es más sostenible (Zaro, et al., 2020), pueden mitigar los efectos del cambio climático, mantener el 75% del área apta para la producción de café (Gomes et al., 2020) y diversificar los ingresos del agricultor. En la misma línea los árboles de sombra, como aliso, pueden generar efectos indirectos a favor de los cafetos, principalmente al mejorar la nutrición (Sauvadet et al., 2018), disminuir la prevalencia de enfermedades y aumentar el crecimiento (Durand et al, 2020).

Los productores de café en la zona de Intag tienen un rendimiento aproximado de 0,91 t/ha (Willis, 2010), un valor inferior a otros países productores de café como Vietnam; 2,25 t/ ha o Brasil; 1,43 t/ ha (FAO, 2015). En Ecuador el MAG (2019) destaca que las principales variables que influyen en la productividad de café arábico son: semilla certificada, edad del cultivo, superficie del cultivo y aplicación de fertilizantes. Mientras que en Imbabura el 33% de los productores de café usan fertilizantes (MAG-SIPA, 2019). Sin embargo, en San Antonio, Intag existe poca evidencia empírica sobre el efecto del uso de fertilizantes en el crecimiento inicial de café y aliso. De tal forma que, este estudio proporcionará información acerca de qué tipo de fertilizante; químico u orgánico influye significativamente el crecimiento temprano de aliso en asociación con cafeto. Así como, datos referenciales sobre el costo que representa establecer un sistema agroforestal con estas especies y una proyección de rentabilidad.

## **1.2 Justificación**

En el área de estudio el suelo pertenece al orden entisol. De acuerdo con SIG-TIERRAS (2017) estos suelos frecuentan en fuertes pendientes, se caracterizan por ser los de más baja

evolución con muy poca evidencia de horizontes edafogénico y son susceptibles a procesos de erosión. No obstante, en el sector existen suelos potencialmente fértiles con alto contenido de materia orgánica, pero con deficiencias de fósforo, boro y en menor medida nitrógeno. De modo que, estas deficiencias son uno de los principales factores que limitan la productividad de los cultivos, en especial el café.

La demanda de nutrientes varía en función de la etapa de crecimiento y desarrollo de las plantas, tal demanda puede ser suplida a través de la aplicación de fertilizantes. Sin embargo, el uso excesivo puede ocasionar modificaciones adversas en las propiedades del suelo, siendo necesario promover alternativas sostenibles para mejorar la fertilidad del mismo.

Por lo tanto, es imprescindible evaluar el efecto de los fertilizantes en el crecimiento inicial de aliso y café, así como establecer sistemas agroforestales para promover la gestión sostenible del suelo. Los SAF aumentan la resiliencia de los cultivos y los medios de vida agrícolas, en especial entre los productores de alimentos más vulnerables (Waldron, et al., 2017). La asociación de árboles con prácticas agrícolas mejora el estado de los nutrientes del suelo, fomenta la conservación de la biodiversidad (Dollinger y Jose, 2018), permite incrementar el contenido de materia orgánica, fijar nitrógeno, mejorar las condiciones físicas del suelo (Rojas et al., 2015) y puede ser un medio alternativo para promover tanto la producción de madera como el uso sostenible de la tierra (De Sousa, et al., 2015). Además, de diversificar los ingresos del agricultor.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 General**

Evaluar el efecto de dos tipos de fertilizantes en el crecimiento inicial de un sistema agroforestal con *Alnus nepalensis* D. Don Y *Coffea arabica* L.

### **1.3.2 Específicos**

- Determinar el tipo fertilizante que tenga mayor influencia en el crecimiento inicial de aliso y café.
- Analizar los costos de establecimiento del sistema agroforestal.

### **1.4 Hipótesis**

- Alternativa (H<sub>a</sub>): Al menos un tipo de fertilizante presenta variación en el crecimiento inicial de *Alnus nepalensis* y *Coffea arabica*.
- Nula (H<sub>0</sub>): Ningún tipo de fertilizante presenta variación en el crecimiento inicial de *Alnus nepalensis* y *Coffea arabica*.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Fundamentación legal**

##### **2.1.1 *Constitución de la República de Ecuador (2008)***

El presente trabajo se enmarca en el Art. 13, 14 y 395 de la Constitución de la República del Ecuador puesto que “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 identidades y tradiciones culturales”. Así como también a “vivir en un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir” y “asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras”.

##### **2.1.2 *Tratados internacionales***

El Ecuador es parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) cuyo objetivo es lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Al igual que los sistemas agroforestales dado su potencial para mitigar los efectos del cambio climático.

##### **2.1.3 *Código orgánico del Ambiente (CODA)***

Esta investigación se articula al Art. 7, 9, 30, 83, y 119 del Código Orgánico del Ambiente, debido a que “respetar los derechos de la naturaleza y utilizar los recursos naturales, los bienes tangibles e intangibles asociados a ellos, de modo racional y sostenible”, busca “satisfacer las necesidades de las actuales generaciones, sin poner en riesgo la satisfacción de necesidades de las generaciones futuras”, “fortalece la economía popular y solidaria”, de tal forma que “mantiene y regenera las funciones ecológicas, así como la dinámica de los ecosistemas naturales o intervenidos que generan servicios ambientales que son indispensables para el sustento de la vida”.

Además, cabe resaltar que es de prioridad nacional “las plantaciones forestales y sistemas agroforestales de producción debido a que pueden constituir medios para aliviar la presión sobre los bosques naturales, por la demanda de madera y sus derivados.”

#### **2.1.4 Leyes Orgánicas**

De acuerdo con la de la Ley Orgánica de Educación Superior, en el Art.8, dice que son fines de la educación superior, “fomentar y ejecutar programas de investigación de carácter científico, tecnológico y pedagógico que coadyuven al mejoramiento del medio ambiente y promuevan el desarrollo sustentable”. Así como “formar académicos, científicos y profesionales responsables, éticos y solidarios, comprometidos con la sociedad”. De tal forma que, tales fines, se enlazan al propósito de esta investigación.

#### **2.1.5 Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021**

El Plan Nacional de Desarrollo es un instrumento que adopta el gobierno del Ecuador para fundamentar las políticas, programas y proyectos públicos, así como también la coordinación entre los diferentes niveles de gobierno, está conformado por tres ejes principales con diferentes objetivos, este proyecto de investigación se vincula con el eje uno; objetivo tres y eje dos; objetivos cinco y seis.

Eje uno, derechos para todos durante toda la vida; objetivo tres, garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones. Para reducir la vulnerabilidad ambiental es urgente tomar acciones para el manejo responsable del patrimonio natural, su biodiversidad terrestre y marina, asegurando condiciones para la regeneración de los ciclos vitales, con especial énfasis en el agua.

Eje dos, economía al servicio de la sociedad; objetivo cinco, impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistribuida y solidaria.



Producir más y con mejor calidad para dar paso a una economía solidaria que integre a más actores en el proceso, donde los ciudadanos sea los principales beneficiarios. Y objetivo seis, desarrollar las capacidades productivas y del entorno para lograr la soberanía alimentaria y el Buen Vivir rural.

### **2.1.6 Línea de investigación**

La Universidad Técnica del Norte según la Resolución No. 122-SO-HCU-UTN en función de las recomendaciones de la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENECYT) presenta 10 líneas de investigación, el presente trabajo se apega a la línea dos; desarrollo agropecuario y forestal sostenible.

### **2.1.7 Códigos de ética en el proceso de investigación**

Esta investigación se adscribe a los principios éticos que rigen el proceso de aprendizaje e investigación de la Universidad Técnica del Norte, es decir la honestidad académica e investigativa, la pertinencia del aprendizaje, el desarrollo continuo de capacidades y competencias para el aprendizaje e investigación y el compromiso con la comunidad.

## **2.2 Fundamentación teórica**

### **2.2.1 Sistemas agroforestales**

Los sistemas agroforestales son una forma sostenible de uso de la tierra, en la que interactúan árboles, cultivos, pastos y animales (López y Molina, 2007). De acuerdo con Atangana *et al.* (2013) se pueden clasificar según la estructura de la vegetación, función de los árboles en el sistema, manejo de insumos, condiciones ambientales e idoneidad ecológica del sistema. Esta investigación aborda la clasificación estructural.

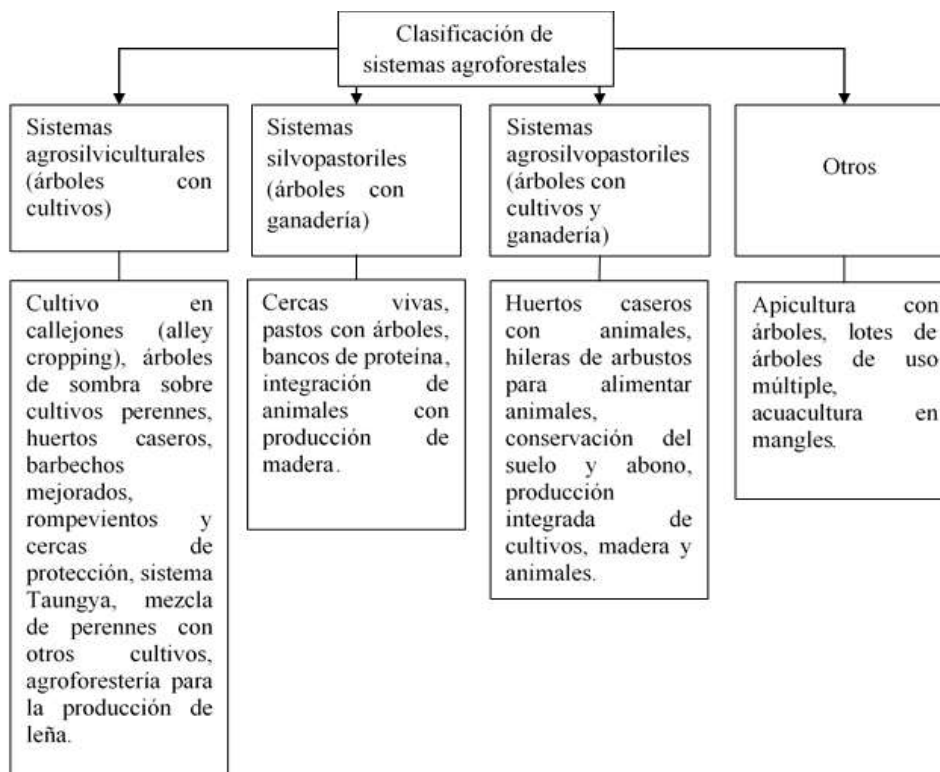
#### **2.2.1.1 Clasificación estructural de sistemas agroforestales**

Ospina (2006) refiere al criterio estructural como el carácter biológico y acomodo espacio temporal de componentes en el sistema agroforestal. Brown *et al.* (2018) difiere cinco sistemas;

agrosilviculturales, silvopastoriles, agrosilvopastoriles, entomoforestería y acua-silvo-pesca, cada sistema incluye varias prácticas como se indican en la figura 1.

**Figura 1**

*Clasificación de los sistemas agroforestales*



Fuente: Nair (1985)

### **2.2.1.2 Árboles con cultivos permanentes**

En el área de estudio es común encontrar cultivos perennes como el café, en asociación con árboles de sombra y/o maderables, dado que los árboles pueden mejorar de manera indirecta la nutrición del cafeto (Suavadet *et al.*, 2018), en especial las especies que fijan nitrógeno. Una de las funciones principales de los árboles de sombra es producir cantidades significativas de materia orgánica, reciclar nutrientes, ayudar a mantener la fertilidad natural del suelo (Hartemink, 2005), mejorar la productividad, proteger los cultivos del intenso calor, lluvias y disminuir la evapotranspiración (Ospina, 2006).

Por ejemplo, *A. nepalensis* puede producir de 3 a 6 t /ha de hojarasca anualmente que contienen de 3,4-3,7 g de nitrógeno, entre 0,08-0,1 g de fósforo, 0,6-0,7 g de potasio y 0,2 g de calcio, por cada 100 g de materia seca (Orwa *et al.*, 2009). Además, cerca de la especie, en el suelo, se puede encontrar concentraciones de nitrógeno del 0,31% y de 0,07% en áreas sin la especie (Farinango, 2018).

## **2.2.2 Diseño de sistemas agroforestales**

### **2.2.2.1 Selección de especies**

Para la selección de especies en sistemas agroforestales al igual que en otros tipos de plantaciones es importante considerar los objetivos del propietario, las especies disponibles en la zona y las características del sitio, es decir clima, suelo, topografía, disponibilidad de riego y tipo de vegetación existente. Esta investigación tiene interés particular en aliso y café, dado que son especies representativas en la zona de Intag.

#### **2.2.2.1.1 *Alnus nepalensis***

Joker (2000) señala que, *A. nepalensis* es una especie que prefiere climas húmedos y frescos con una temperatura media anual de 13 a 26 ° C, puede crecer hasta 3000 metros de altitud en regiones templadas y subtropicales, requiere precipitaciones anuales de 500 a 2500 mm y una estación seca de hasta aproximadamente seis meses, prefiere suelos húmedos y bien drenados, pero no anegados y es un árbol multipropósito cultivado para madera, leña, pulpa, taninos, forraje, abono verde, mejora del suelo y control de erosión (CABI, 2013).

En sistemas agroforestales se puede asociar con café, maíz o fréjol sin presentar efectos alelopáticos (Varela, 2017). De acuerdo con Añazco et al. (2018) *A. nepalensis* es una especie que hace de los sistemas de producción agrícola, ganaderos y silvícola, sostenibles. Además, figura una alternativa económica atractiva para los agricultores de la zona de Intag, ya que a los nueve

años es vendida en forma de tablones en USD 240. También, representa el 100% de madera aprovechada proveniente de la zona y es la especie más explotada en Imbabura (Tituaña y Nicolalde, 2019).

### **2.2.2.1.2 *Coffea arabica***

El café es el segundo producto agrícola más importante que se comercializa a nivel mundial (Rodríguez *et al.*, 2017). Durante la última década en la zona de Intag la producción, procesamiento y comercialización de café han convertido a esta actividad en una de las más importantes para la zona (IICA, 2013) e Imbabura, ya que es una de las principales provincias productoras de café arábigo.

El cafeto en Intag ocupa una superficie de 176 ha y se cultiva con mayor frecuencia en las parroquias de Apuela, Plaza Gutiérrez y García Moreno (Aragón *et al.*, 2019). El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP (2014) manifiesta que el cultivo de cafeto requiere las siguientes condiciones agroecológicas (ver tabla 1):

**Tabla 1**

*Condiciones agroecológicas para el cultivo de café arábigo*

Requerimientos climáticos y edáficos	
Altitud	400-2000 msnm
Temperatura	16-23°C
Precipitación	1200-1800 mm/año
Humedad	70 a 95 %
Suelo	Franco arcilloso, franco arenoso o franco limoso
Pendiente	0 a 70 %
pH	5,6 a 6,5

Fuente: Adaptado de MAGAP (2013) e INIAP (2014)

### 2.2.3 Estructura del sistema

#### 2.2.3.1 Arreglos espaciales

Los arreglos espaciales consisten en distribuir cierto número de plantas en un determinado espacio. Rendón y Bermúdez (2017) dan a conocer los arreglos más comunes para la siembra de café (ver tabla 2).

**Tabla 2**

*Arreglos espaciales para el establecimiento de cafetales u otras especies.*

Arreglo	Característica
En cuadrado	Se ubican las plantas de manera equidistante, es decir la distancia entre surcos e hileras es igual. Por ejemplo, 3 x 3 m. Se utiliza en terrenos con pendientes inferiores al 5%.
En rectángulo	Se considera la mayor longitud como la distancia entre surcos y la menor entre plantas. Se utiliza en terrenos con pendientes inferiores al 5%.
En triángulo o tresbolillo	Se ubican las plantas en los vértices de un triángulo equilátero, con este arreglo la densidad de plantas incrementa en 15%. Se utiliza en terrenos con pendientes inferiores al 5%.
En curvas de nivel	Este sistema permite establecer las plantas en hileras o surcos a través de la pendiente ajustándose al contorno del terreno. Se utiliza en terrenos con pendientes entre 5 y 50%. Además, es una práctica agrícola efectiva para la conservación del suelo y agua en campos inclinados (Guo, 2018).

Fuente: Rendón y Bermúdez (2017)

### ***2.2.3.2 Densidad y distanciamiento***

Silveira *et al.* (2018) afirma que los factores que más afectan el potencial de rendimiento de los granos de café procesados, en orden de importancia, son: el cultivar, el espacio entre hileras y el espacio entre plantas. Romero y Camilo (2019) sostienen que para variedades de café de porte bajo el marco de plantación más utilizado es de dos metros entre hileras y un metro entre plantas, para una densidad de 5000 plantas/ha.

Por otro lado, Villareyna (2016) recomienda plantar en sistemas agroforestales de 700 a 100 árboles de sombra/ha y un máximo de 5000 cafetos para variedades de porte bajo, por ejemplo, caturra. Mientras que el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador (INIAP, 2014) manifiesta que un sistema cafetalero puede estar compuesto por 4100 plantas de café/ha, 80 plantas de guabo y 280 colinos de plátano. Al contrario, el Ministerio de Agricultura y Pesca (MAG, 2019) sugiere utilizar 80 plantas/ha para sombra permanente y 50 para sombra temporal.

### ***2.2.3.3 Disposición o estratificación***

Farfán (2014) señala que los componentes de un sistema agroforestal pueden estar dispuestos en estratos simples y multiestratos. Los estratos simples solo tienen una capa de árboles, mientras que los multiestratos un grado sustancial de complejidad estructural del al menos uno de los estratos, compuesto por plantas leñosas y arbustos (Schroth y Socorro, 2014). Farfán también menciona que existen otras disposiciones de los componentes, tales como:

- a) Densa: los componentes están juntos estrechamente en la parcela.
- b) Dispersa: los componentes están lejos unos de otros.
- c) Simultánea: los componentes están presentes al mismo tiempo en la parcela.
- d) Secuencial: los componentes no están presentes simultáneamente en la parcela, uno va tras otro.

#### **2.2.3.4 Sombra**

El café es una especie originaria del sotobosque que tiene capacidades fotosintéticas adaptadas a ambientes sombreados (Arango, 2019). Por lo tanto, para el establecimiento de cafetales es necesario implementar sombra transitoria y permanente, a fin de evitar desequilibrios fisiológicos en el crecimiento por intensa luminosidad (INIAP, 1993). De acuerdo con Somarriba (2002) el entendimiento de la dinámica de la sombra es fundamental para su diseño y manejo.

Tatagiba et al. (2010) manifiestan que, si se exponen plantas de café a sombra artificial en un rango de 22 y 50% se puede observar un mayor crecimiento vegetativo en relación con plantas expuestas a pleno sol y sombra del 88%, proporcionando la formación de plántulas más vigorosas, verificadas principalmente por la materia seca total de las plantas.

Farfán, (2016) dice que las especies empleadas como sombrío transitorio deben ser de rápido crecimiento y tener una vida útil entre dos y cuatro años, hasta que el sombrío permanente cumpla esta función. Además, estas especies deben ofrecer alguna rentabilidad económica al agricultor, hasta que el café empiece a producir, como por ejemplo maíz, fréjol o plátano.

#### **2.2.4 Interacciones dentro del sistema**

##### **2.2.4.1 Relaciones sinérgicas y antagónicas**

Kohli *et al.* (2007) manifiesta que una interacción ecológica se refiere al impacto de una especie sobre otra. Existen tres tipos de interacciones, positivas o sinérgicas, negativas o antagónicas y neutras, éstas son muy raras y existen solo cuando los nichos están distantes. En los sistemas agroforestales tales interacciones conducen al desarrollo humano, así como a la conservación, gestión y desarrollo de los recursos naturales de manera eficiente.

Las interacciones entre especies son reguladas a través del ambiente mediante el principio de respuesta y efecto. Los árboles compiten con los cultivos principalmente por agua, luz y

nutrientes, es por ello, que es importante manejar estratégicamente las especies para obtener el máximo aprovechamiento en términos de productividad y eficiencia (Sánchez y Aldana, 2010). A continuación, se muestran varias interacciones frecuentes en los sistemas agroforestales (ver tabla 3).

**Tabla 3**

*Interacciones sinérgicas y antagónicas presentes en sistemas agroforestales*

Complementarias (sinérgicas)	Competitivas (antagónicas)
Simbióticas	Parasitismo
Reciclaje de nutrientes	Comensalismo
Sombra	Alelopatías
Protección contra vientos	Competencia por luz
Protección contra heladas	Competencia por agua
Protección contra ganado	Competencia por suelo
Delimitación	Competencia por nutrientes
Regulación de agua	Competencia por espacio aéreo
Conservación de suelos	

Fuente: Alegre et al. (2015)

**2.2.4.2 Funciones de las especies seleccionadas**

Los componentes de un sistema agroforestal cumplen varias funciones que se derivan de los bienes y servicios que generan (McAdam *et al.*, 2009). Las especies seleccionadas, cumplen funciones de producción, hábitat y regulación. Por ejemplo, los árboles de sombra como aliso ayudan a proteger las plantas de café del calor excesivo, a largo plazo podrían generar ingresos



importantes para el agricultor y contribuir a mitigar el cambio climático. En la tabla 4 se mencionan otras funciones de las especies seleccionadas.

**Tabla 4**

*Funciones de las especies seleccionadas dentro del sistema*

Especies	Funciones dentro del sistema
Aliso ( <i>A. nepalensis</i> )	Sombra, fijación de nitrógeno, aporte de biomasa, conservación de la humedad, captura de carbono y madera.
Café ( <i>C. arabica</i> )	Cultivo de valor económico, frutos.
Plátano ( <i>Musa spp</i> )	Sombrío transitorio, alimento, aporte de materia orgánica y reciclaje de nutrientes.
Maíz ( <i>Z. mays</i> )	Sombrío transitorio, cultivo de valor económico, alimento, aporte de materia orgánica y reciclaje de nutrientes.

Fuente: Adaptado de Farfán (2014)

## 2.3 Fertilizantes

### 2.3.1 Importancia

Con una población mundial en constante aumento es importante incrementar la producción de alimentos. La aplicación de fertilizantes es uno de los principales insumos en la industria agrícola, dado que mejora la productividad, proporciona nutrientes a los cultivos, aumenta su crecimiento, regula tanto el pH como la fertilidad del suelo (Lubkowski, 2016) y mejora la rentabilidad económica del agricultor. No obstante, la aplicación excesiva puede provocar lixiviación, contaminación del agua, destrucción de microorganismos e insectos, susceptibilidad de los cultivos a enfermedades, acidificación o alcalinización del suelo, reduciendo la fertilidad y provocando daños irreversibles (Chen, 2006).

### **2.3.2 Tipos de fertilizantes**

Los fertilizantes se pueden clasificar en químicos y orgánicos. Los de naturaleza química son principalmente a base de nitrógeno, fosfato y potasio. Al contrario, los de origen orgánico provienen de estiércol animal, solos o mezclados con residuos vegetales, biosólidos y subproductos orgánicos (Morari *et al.*, 2011). Pueden ser polvos, cristales, gránulos, briquetas o materiales fritos y líquidos, es decir, soluciones solubles y emulsiones de materia orgánica poco solubles, que comúnmente se mezclan con pesticidas o herbicidas (Barker, 2019).

Además, pueden ser de rápida absorción o liberación lenta; estos solo actúan una vez descompuestos en el suelo. A su vez son simples; solo contienen un elemento nutritivo y compuestos, se distingue por la presencia de dos, tres y hasta seis minerales (Finck, 2021).

### **2.3.3 Absorción de los elementos nutritivos por las plantas**

De acuerdo con Navarro y Navarro (2014) la mayoría de los elementos nutritivos son asimilados por raíces jóvenes, las raicillas segregan sustancias ácidas que permite solubilizar, en parte, compuestos difícilmente solubles, tales como fosfatos, carbonatos, óxidos de hierro, otros. Mientras que el dióxido de carbono producido durante la respiración radicular dispone de mayor posibilidad de alimentación a la planta. Una vez que los nutrientes son usados en los procesos de metabolismo celular o del crecimiento vegetal, pueden ser traslocadas dentro de la planta o fijados después de su uso.

#### **2.3.3.1 Factores que influyen en la absorción mineral**

Reichardt y Timm (2019) sostienen que los nutrientes llegan al sistema radicular de la planta mediante flujo masivo, difusión e intercepción. Durante estos procesos las condiciones físicas del suelo y climáticas influyen en el transporte y absorción de nutrientes como se indica en la tabla 5.

**Tabla 5***Factores que influyen en el transporte y absorción de nutrientes por las plantas*

Factor	Influencia
Textura	Los suelos de textura fina presentan mayor posibilidad de contacto con los pelos absorbentes de la raíz, que los de textura gruesa, facilitando la absorción de nutrientes. A su vez, determina la conductividad hidráulica y capacidad de retención del agua.
Aireación	La ausencia de oxígeno inhibe la absorción mineral. En general, las raíces no empiezan a reducir su absorción hasta valores inferiores del 10% .
pH	Dadas las características fisicoquímicas de los minerales, el pH influye en la transformación de compuestos insolubles, la solubilidad de los nutrientes varía en función del pH. Además, sobre la actividad de los microorganismo del suelo.
Temperatura	En general un aumento en la temperatura provoca mayor absorción de iones, mientras que temperaturas bajas dificultan varias reacciones bioquímicas que intervienen en el transporte de nutrientes hacia las plantas.
Humedad	Cuando el contenido de agua es apropiado permite la transpiración potencial de las plantas y producción de glúcidos para mantener la hidratación del protoplasma celular.
Luz	A mayor luz incrementan las reservas carbonatas y transpiración de la planta provocando un efecto indirecto sobre la nutrición mineral.

Fuente: Adaptado de Navarro y Navarro (2014) y Reichardt y Timm (2019)

### **2.3.4 Nitrógeno, fósforo y potasio; funciones en las plantas**

#### **2.3.4.1 Nitrógeno**

Leghari *et al.* (2016) dice que el nitrógeno es un macroelemento que aumenta significativamente el rendimiento y calidad de las plantas. Hirel *et al.* (2007) expresa que durante el crecimiento vegetativo el nitrógeno es absorbido por las raíces y asimilado para formar estructuras celulares en las plantas, entre tanto durante la floración contribuye a la deposición de proteínas en los granos. En la mayoría de las plantas se correlaciona positivamente con el flujo de agua hacia y a través de las raíces (Tyerman *et al.*, 2017). Además, tiene un efecto significativo sobre la fotosíntesis al influir en la estructura de la hoja y la asignación de este nutriente dentro de la misma (Mu *et al.*, 2021).

#### **2.3.4.2 Fósforo**

El fósforo es un elemento esencial para todos los organismos, forma parte de los fosfolípidos (Cade-Menun *et al.*, 2017), está involucrado en la transferencia de energía, fotosíntesis, metabolismos, señalización intracelular, replicación y expresión de genes (Ceasar *et al.*, 2014). A la vez está presente en la generación de células nuevas como, por ejemplo, la producción de raíces al inicio de los ciclos vegetativos (Fernández, 2007), desarrollo del grano y floración.

#### **2.3.4.3 Potasio**

El potasio cumple funciones fisiológicas relacionadas con la salud de las plantas y resistencia a estrés biótico y abiótico como enfermedades, plagas, sequía, salinidad, frío, heladas y anegamiento (Wang *et al.*, 2013). También regula el desarrollo de la planta, incluida la osmorregulación y el equilibrio interno catión-anión (Rawat *et al.*, 2016). Al participar de estos

procesos metabólicos el K actúa favoreciendo la fructificación, maduración y la calidad de los frutos (Conti, 2000).

### **2.3.5 Deficiencia de N,P y K en el cafeto**

Monsalve *et al.* (2015) menciona que la deficiencia de nutrientes en el suelo limita el desarrollo normal de las plantas y aparecen síntomas característicos como cambios en el tamaño y simetría de la hoja, defoliación, clorosis, necrosis, muerte descendente, otros. Los síntomas más evidentes por deficiencia de N, P y K en plantas de cafeto son:

- a. Deficiencia de nitrógeno: se presenta como clorosis uniforme en el conjunto del área foliar desde la base hasta el ápice y desde el centro posterior de la hoja. Este elemento es el primer factor limitante del crecimiento de las plantas después del agua en la mayoría de los ecosistemas. (Nygren *et al.*, 2012; Coskun *et al.*, 2016).
- b. Deficiencia de fósforo: El fósforo es un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Sharma *et al.*, 2013), la deficiencia muestra manchas de formas irregulares, coloración amarilla o rojiza en algunas partes del área foliar.
- c. Deficiencia de potasio: comienza con necrosis en el ápice de la hoja con un halo amarillo que la limita.

### **2.3.6 Fertilización de especies prioritarias**

#### **2.3.6.1 Aliso**

*Alnus nepalensis* es una especie de rápido crecimiento que no requiere suelos de alta fertilidad (CABI, 2013). No obstante, Gardner *et al.* (1984) señala que en suelos con cantidades bajas de fósforo la capacidad de aliso para fijar nitrógeno puede presentar limitaciones. Zhang y Smith (2002, citado por Farinango, 2018) mencionan que la aplicación de fertilizantes químicos puede inhibir la formación de nódulos, así como la actividad de los ya formados.

De acuerdo con Russo *et al.* (1993) la aplicación de 50 g/kg de P a plántulas de *A. acuminata* inoculadas con VAM y Frankia estimuló el crecimiento de nódulos, mientras que la fijación de nitrógeno se estimula con niveles de 10 g/kg de P. Por otro lado, Anilema (2018) dice que la aplicación de 60 g/planta del fertilizante (10-30-10), cada 30 días, incrementa la altura total de *A. acuminata*, mientras que, 80 g/planta, aumentan el diámetro basal, número de brotes y hojas.

### 2.3.6.2 Café

La disponibilidad de macro y micronutrientes en el suelo influyen en el crecimiento, desarrollo y producción del cafeto. La recomendación para fertilizar un cultivo depende de la demanda nutricional de la planta, la edad del cultivo, deficiencia de minerales, así como la dosis aplicada al suelo, ente otros. En la tabla 5 se muestran los niveles óptimos de nutrientes que necesita la planta de cafeto, según Melke y Ittana (2015).

Vilela (2014) dice que la aplicación de 73,6 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a plantas de cafeto en condiciones de invernadero incrementó una altura máxima de 34,8 cm. En cambio, Sousa *et al.* (2014) observó un crecimiento máximo con la aplicación de 501 a 720 g/planta. Por otro lado, Zhang *et al.* (2017) en un experimento de campo determinó que la relación óptima de N, P y K para el crecimiento inicial del cafeto es 1:0,8:0,5, es decir 90 g/planta de N-P-K por año. Al contrario, Sadeghian (2008) recomienda aplicar fertilizantes con alto contenido de fósforo y potasio en cantidades que oscilan entre 200 y 400 kg/ha, al momento de la siembra. Mientras que para Iñiguez (1996), 20 g/planta de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> al primer año.

**Tabla 6**

*Niveles óptimos de nutrientes en el suelo para el cultivo de café*

Nutriente	Método de extracción	Niveles óptimos sugeridos
pH	1:5 suelo/agua	5,5-6,0
Materia orgánica	Walkley Black	1-3%

Conductividad	1:5 suelo/agua	<0,2 dsm
Nitrato de nitrógeno	Extracto acuoso 1:5	>20 mg/kg Ensayos foliares más relevantes
Fosfato	Colwell o bicarbonato	60-80 mg/kg
Potasio	Acetato de amonio	> 0,75 mg/kg
Azufre	KCL-40	> 20 mg/kg
Calcio	Acetato de amonio	3-5 meq/100g
Magnesio	Acetato de amonio	> 1,6 meq/100g
Aluminio	Extracto de cloruro de potasio	Desconocido pero muy bajo
Sodio	Acetato de amonio	< 1,0 meq/100g
Cloruro	Extracto acuoso 1:5	250 mg/kg
Cobre	DPTA	0,3-10 mq/kg
Zinc	DPTA	2-10 mg/kg
Manganeso	DPTA	< 50 mq/kg
Hierro	DPTA	2-20 mg/kg
Boro	Cloruro de calcio caliente	0,5-1,0 mg/kg margas arenosas 1,0-2,0 mg/kg franco arcilloso
Capacidad de intercambio catiónico		3-5 suelo arenoso > 10 tipos de suelo pesado
Equilibrio catiónico		Potasio (<10%), Calcio (65-80%), Magnesio (15-20%), Sodio (>5%), Aluminio (<1%)
Relación calcio: magnesio		3-5

*Nota.* Diferentes métodos de extracción darían resultados y niveles óptimos diferentes.

## 2.4 Plagas y enfermedades en el cafeto

### 2.4.1 *Roya*

La roya del café es causada por el hongo *Hemileia vastatrix*, un parásito obligado que afecta las hojas vivas del género *Coffea*, provoca defoliación y en casos agudos puede provocar la

muerte de ramas (Avelitno *et al.*, 2015). Los síntomas de la enfermedad son manchas cloróticas de 1-3 mm de diámetro que se expanden hasta 20 mm y vuelven necrótico el tejido de las hojas del cafeto (Zambolim, 2016). El control químico más efectivo es aplicar productos a base de cobre en intervalos regulares como una medida preventiva (Krishnan, 2017).

#### **2.4.2 Barrenador de la baya del café**

El barrenador de los frutos del cafeto *Hypothenemus hampei* es la plaga de insectos más devastadora en todo el mundo (Alejandre *et al.*, 2018). La hembra adulta de este insecto perfora el mesocarpio de las bayas verdes y maduras del cafeto, construyendo galerías que afectan significativamente el grano de café (Castrillo *et al.*, 2020). Los insecticidas químicos, por ejemplo, endosulfán, clorpirifós y cipermetrinas son bastante efectivos para controlar la broca del café (Bagny *et al.*, 2019).

#### **2.4.3 Minador de hoja**

El minador de la hoja del café *Leucoptera coffeella* es un insecto que durante la etapa de vida inmadura se alimenta en el mesófilo de la hoja del cafeto, desencadenando necrosis y disminución de la capacidad fotosintética, defoliación y pérdida significativa en el rendimiento (Dantas *et al.*, 2020). La aplicación sistémica de thiamethoxan desempeña un control efectivo para esta plaga.

#### **2.4.4 Muerte descendente**

Por otro lado, DaMatta (2004) dice que la muerte descendente o regresiva se ha asociado con tensiones ambientales en el suelo, atmósfera, déficit de agua, altas temperaturas, alta insolación o los efectos combinados de estas tensiones. Los métodos de control son manejos culturales como la implementación de cultivos transitorios o cortinas rompevientos.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y METODOLOGÍA

#### 3.1 Ubicación del sitio

##### 3.1.1 Política

El estudio se realizó en el sector San Antonio, parroquia de Apuela, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura, Ecuador en la propiedad del Sr. Julio de la Cruz (ver anexo 1).

##### 3.1.2 Geográfica

Las coordenadas del sitio son latitud: 0°25'07" N y longitud 78°28'02" W, estos datos fueron tomados con un GPS Garmin eTrex 10 a una precisión de  $\pm 3$ m.

##### 3.1.3 Linderos

El área de estudio limita con los terrenos de los siguientes propietarios: al norte con el Sr. Hugo Pasquel, al sur con el Sr. Patricio de la Cruz, al este con la Sr. María Teresa Chávez y al oeste con la quebrada Santa Clara.

##### 3.1.4 Datos biofísicos y climáticos

- Extensión: 0,3 ha
- Altitud: 2000 msnm
- Pendiente: Superior al 70%
- Clima: Ecuatorial mesotérmico, semi húmedo (IGM, 2013)
- Precipitación: 1000 a 1500 mm (IGM, 2008)
- Temperatura: 15 a 16 °C (IGM, 2008)
- Textura de suelo: Franco arenoso
- pH: 5,6 ligeramente ácido.
- Contenido de materia orgánica: 16,27 %

### 3.2 Materiales, equipos, insumos y software

En la tabla 7 se mencionan los materiales, equipos, insumos y software utilizados para el desarrollo de la presente investigación.

**Tabla 7**

*Materiales, equipos, insumos y software utilizados en la investigación*

Materiales	Equipos	Insumos	Software
Flexómetro	GPS eTrex 10	Plántulas de aliso	ArcGis 10.5 ©
Balizas metálicas	Calibrador Vernier	Plántulas de café	Microsoft office
Hoyadora	Computador	Cepas de plátano	InfoStat
Piola	Clinómetro digital Haglöf EC II D	Semilla de maíz	
Etiquetas plásticas			
Libreta de campo			
Nivel en A			

### 3.3 Diseño experimental

#### 3.3.1 *Aliso*

*Alnus nepalensis* se analizó a través de una prueba t de student basada en dos muestras y para los supuestos no paramétricos se empleó la prueba de Mann-Whitney. El número de individuos fue dividido en dos grupos y se aplicó dos tipos de fertilizantes, químico; 60 g/árbol de roca fosfórica (AQ) y orgánico; 500 g/árbol de champiñonaza (AO).

Esta especie no fue analizada a través de un diseño experimental debido a que la unidad básica del experimento fue reducida; 40 individuos. De modo que no se cumplía con los supuestos paramétricos de normalidad y homogeneidad. Los árboles de aliso se plantaron a un distanciamiento de 12 x 12 m en el sentido de las curvas de nivel dado el grado de inclinación del terreno.

### 3.3.2 *Café*

Las plantas de cafeto se establecieron a 3 x 3 m y se analizaron a través de un diseño en Bloques al Azar (DBA). Para determinar si existen diferencias significativas entre los tratamientos propuestos se empleó un análisis de varianza (ADEVA) y para los supuestos no paramétricos se utilizó la prueba de Friedman al 95% de probabilidad estadística. Los elementos necesarios para aplicar el diseño experimental se detallan a continuación.

#### 3.3.2.1 *Factores de estudio*

En esta investigación se planteó como factores de estudio los tipos de fertilizantes y las dosis como niveles (ver tabla 8).

**Tabla 8**

*Factores y niveles de estudio para el análisis estadístico de C. arabica*

Factor	Nivel
Fertilizante orgánico	Champiñonaza 1000 g
	Champiñonaza 2000 g
Fertilizante inorgánico	Roca fosfórica 40 g
	DAP 18-46-0 55g

#### 3.3.2.2 *Tratamientos*

Se emplearon cinco tratamientos, dos a base del fertilizante orgánico champiñonaza; en diferentes dosis y dos a base de; roca fosfórica y fosfato di amónico más un testigo como se indica en la tabla 9. Los tratamientos fueron codificados con tres letras y un número, en orden consecutivo indican la especie, el tipo de fertilizante, la dosis y la cantidad de fertilizante. Por ejemplo, C; café, Q; fertilizante químico, D, dosis uno; 40 g de roca fosfórica. Cada tratamiento tiene 16 unidades experimentales y cuatro repeticiones.

**Tabla 9**

*Codificación y nombre de los tratamientos propuestos para el análisis estadístico de café*

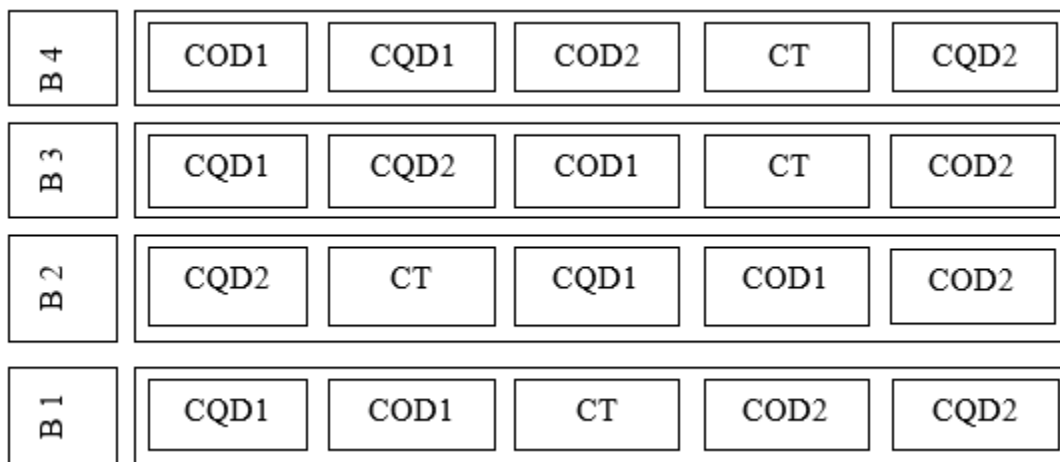
Codificación	Plantas por tratamiento	Repeticiones	Total, de plantas	Descripción
COD <sub>1</sub>	16	4	64	1000 g de champiñonaza
COD <sub>2</sub>	16	4	64	2000 g de champiñonaza
CQD <sub>1</sub>	16	4	64	40 g roca fosfórica
CQD <sub>2</sub>	16	4	64	55 g de DAP 18-46-0
CT	16	4	64	Testigo

### 3.3.2.3 Distribución de bloques y tratamientos

Los bloques se distribuyeron en las zonas del terreno con mayor homogeneidad siguiendo las curvas de nivel, dentro de los mismos los tratamientos se ubicaron aleatoriamente como se indica en la figura 2.

**Figura 2**

*Distribución de tratamientos aplicados a C. arabica dentro de los bloques*



### **3.4 Manejo específico el experimento**

Para realizar el manejo específico del experimento se tomó como referencia los elementos metodológicos propuestos por Imbaquingo y Naranjo (2010), que son:

#### **3.4.1 *Obtención del material vegetal***

El material vegetal se adquirió de los viveros más cercanos al área de estudio, a diferencia de los cúmulos de plátano que fueron recolectados en la propiedad del Sr. Julio de la Cruz y la semilla de maíz que se adquirió de la parroquia de Pablo Arenas, Urcuquí, Imbabura.

#### **3.4.2 *Delimitación del sitio***

Para delimitar el área de estudio se tomó varios puntos por el perímetro del terreno con un GPS Garmin eTrex 10, a una precisión de  $\pm 3\text{m}$ , luego esta información se procesó en ArcGis 10.5 ©.

#### **3.4.3 *Limpieza general***

La limpieza general del terreno se realizó de manera mecánica con una moto guadaña removiendo la cobertura vegetal, predominada por helechos.

#### **3.4.4 *Análisis de suelo***

Para realizar el análisis de suelo se utilizó la metodología propuesta por INIAP (1974). A través de un recorrido en zig-zag por el área del terreno se recolectó submuestras de suelo a una profundidad de 15 a 20 cm, retirando en primera instancia la capa superficial de tierra luego estas submuestras fueron mezcladas y enviadas al laboratorio.

#### **3.4.5 *Señalización y marcación***

Para señalar la ubicación de las plantas se empleó un nivel en "A" con una apertura de 3 m, de modo que facilitó señalar la posición de las plantas, en cada posición se ubicó una estacilla

metálica de 65 cm, una vez que todas las plantas fueron ubicadas se colocó etiquetas plásticas previamente codificadas para diferenciar el número de bloque, planta y tratamiento.

### 3.4.6 Apertura de hoyos

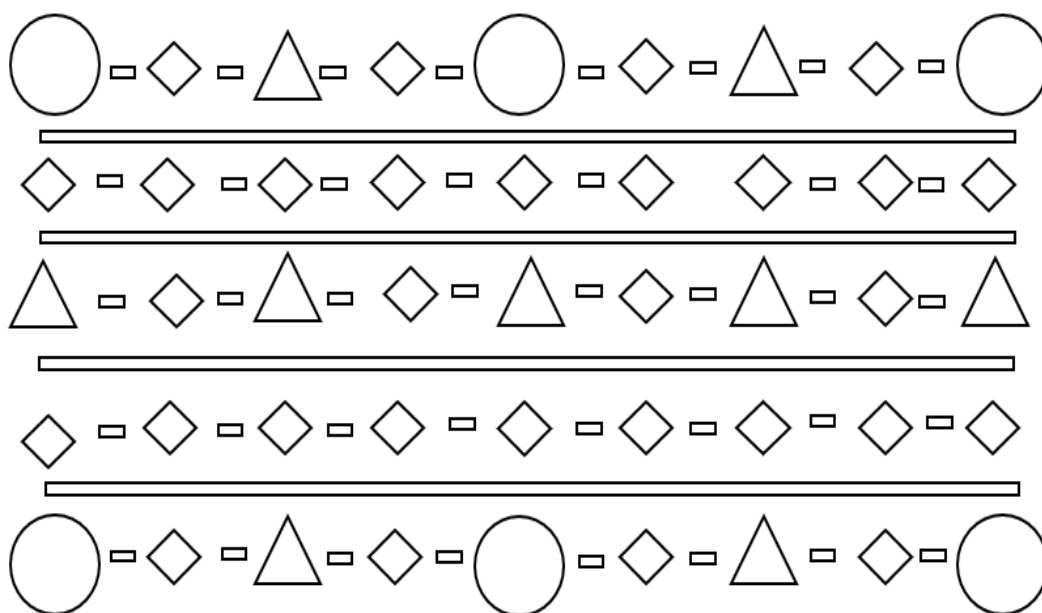
Para la apertura de los hoyos se retiró los primeros 10 cm de suelo diferenciando los horizontes de suelo extraídos, de tal forma que, al momento de plantar se mantenga la estructura del mismo. Se utilizó una dimensión del hoyo proporcional al tamaño de la planta.

### 3.4.7 Plantación y siembra

La plantación y siembra se realizó durante la estación lluviosa. Al momento de colocar la planta al hoyo e incorporar la tierra se aplicó presión manual para evitar bolsas de aire que puedan afectar el sistema radicular de la planta. El esquema estructural del sistema agroforestal se representa de la siguiente manera (ver figura 3).

**Figura 3**

*Esquema estructural del sistema agroforestal propuesto*



*Nota.* El círculo representa a *A. nepalensis*, el rombo; *C. arabica*, el triángulo; *Musa* spp y el rectángulo; *Zea mays*.

### 3.5 Manejo del sistema agroforestal

#### 3.5.1 Sombra

Al estar expuesto el cafeto a una intensa luminosidad inicial se implementó dos cultivos transitorios; plátano a 6x6 m y maíz mateado cada 30 cm. Y se evaluó el porcentaje de sombra de una muestra representativa para poblaciones finitas, con la fórmula referenciada por Aguilar, (2005).

$$n = \frac{N Z^2 S^2}{d^2(N - 1) + Z^2 S^2} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

n = tamaño de la muestra

N = tamaño de la población

Z = valor de Z crítico, calculado en las tablas del área de la curva normal

S<sup>2</sup> = varianza de la población en estudio

d = nivel de precisión absoluta

#### 3.5.2 Fertilización

Se fertilizó aliso y café tres veces al año en base a las recomendaciones y deficiencias nutricionales que indica el análisis de suelo (ver anexo 2). El fertilizante se aplicó bajo la proyección de la copa en forma de medialuna a una profundidad de 15 a 20 cm, debido a la inclinación del terreno.

### 3.6 Variables a medir y recopilación de datos

#### 3.6.1 Variables cuantitativas

En aliso y café se evaluaron las mismas variables, excepto morfología en café, en los cultivos complementarios; plátano y maíz se determinó el porcentaje de sombra.

### **3.6.1.1 Supervivencia**

La supervivencia se entiende como la relación entre el número de plantas vivas y el número de plantas establecidas, fue determinada aplicando la fórmula propuesta por Valenzuela, (2014).

$$S\% = \frac{Av}{Ap} \times 100 \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

S% = supervivencia

Av = número de árboles vivos

Ap = número de árboles plantados

### **3.6.1.2 Altura total**

Para registrar el dato de altura total se colocó una tapa referencial a nivel del suelo y partir de este punto se midió la altura hasta el ápice de la planta, periódicamente cada 60 días durante un año. Para esta medición se empleó un flexómetro profesional KENDO y un clinómetro digital Haglöf EC II D para las especies que superaron los tres metros.

### **3.6.1.3 Diámetro basal**

El diámetro basal se midió a la altura de la tapa de referencial cada 60 días con un calibrador VERNIER, con precisión de 0,05 mm. Para los individuos que superaron los tres metros, el diámetro fue medido a 1,30 m del suelo con una cinta diamétrica.

### **3.6.1.4 Altura de copa**

La altura de copa se midió a partir de la primera ramificación fuerte del fuste hasta el ápice de la planta con un flexómetro cada 60 días durante un año.

### **3.6.1.5 Porcentaje de sombra**

Para evaluar el porcentaje de sombra se adaptó la metodología de Cevallos (2017), a partir del centro de la especie se tomó dos medidas de la proyección de la copa en sentido norte-sur y



este-oeste. Luego estos valores se promediaron y se calculó el área de sombra con la fórmula general de un círculo, que es:

$$A = \pi \times r^2 \quad \text{Ec. 3}$$

### 3.6.2 Variables cualitativas

#### 3.6.2.1 Estado fitosanitario

El estado fitosanitario se refiere a la presencia o ausencia de plagas o enfermedades evidentes en el arbolado de la plantación y se evaluó según los siguientes criterios (ver tabla 10). Esta variable se registró cada 60 días por doce meses.

**Tabla 10**

*Criterios para evaluar el estado fitosanitario de A. nepalensis y C. arabica*

Criterio	Descripción	Puntaje
Excelente	Sin lesiones de plagas y enfermedades	4
Bueno	Lesiones en un 25% del área foliar	3
Regular	Lesiones en un 50% del área foliar	2
Malo	Lesiones en un 75% del área foliar	1

Fuente: Erazo (2010)

#### 3.6.2.2 Morfología

Para determinar la morfología de las plantas se utilizó el método de sistema de puntaje subjetivo de Zobel y Talbert (1988). Esta variable se evaluó durante 60 días por 12 meses. Entre las formas y tipos de fustes se tiene (ver tabla 11):

**Tabla 11***Formas de fustes para evaluar la morfología de A. nepalensis*

Forma del fuste	Calidad	Característica del árbol
Buena o cilíndrica	1	Recto
Regular	2	Bifurcados
Inferior	3	Torcidos

### 3.7 Costos de establecimiento del sistema agroforestal

Para analizar los costos de establecimiento del sistema agroforestal se utilizó costos fijos y variables, extrapolados de 3000 m<sup>2</sup> a 10000 m<sup>2</sup>. Consecutivamente se hizo una proyección de la rentabilidad financiera del sistema a 15 años con información secundaria de fuentes oficiales como el MAG-SIPA, INIAP y AACRI. Se aplicaron los siguientes indicadores:

**a.** Valor actualizado neto (VAN)

$$VAN = \sum \frac{(B_t - C_t)}{(1 + r)^t} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

B = beneficios en el año t

C = costo en el año t

r = tasa de descuento aplicada

**b.** Tasa interna de retorno (TIR)

$$TIR = \sum \frac{B_t - C_t}{(1 + p)^t} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

B = beneficios alcanzados en el año t

C = los costos incurridos en el año t

p = la tasa interna de retorno aplicada

c. Relación beneficio costo (B/C)

$$B/C = \frac{Tbe}{Tcd} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

B/C = relación beneficio costo

Tbe = total beneficios encontrados

Tcd = total costos descontados

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Crecimiento inicial de *A. nepalensis*

##### 4.1.1 *Sobrevivencia*

A los 12 meses de evaluación sobrevivió el 92,5 % de plantas de *A. nepalensis*, es decir que, de 40 individuos, tres no sobrevivieron. El análisis no paramétrico de los tratamientos estudiados: químico; 60 g/planta de roca fosfórica (AQ) y orgánico; 500 g/planta de champiñonaza (AO), no presentó diferencias significativas ( $p$ -valor  $> 0,9$ ) al 95 % de probabilidad estadística.

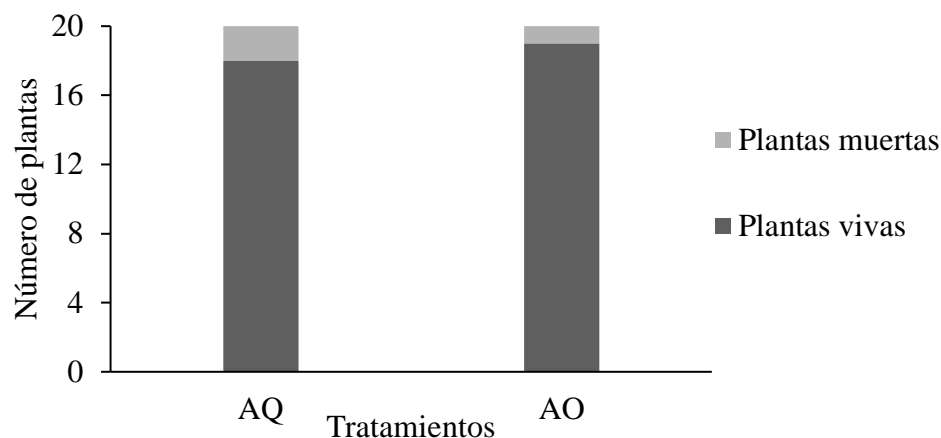
Tulik *et al.* (2020) sostiene que los requerimientos ecológicos y edafoclimáticos de la especie, las características morfológicas y fisiológicas de la planta, la calidad de semilla, la preparación del terreno (Prieto *et al.*, 2018) y la fecha de plantación son factores que tienen impacto significativo en la salud y sobrevivencia de los árboles.

De acuerdo con Añazco *et al.* (2018) *A. nepalensis* se adapta a las condiciones edafoclimáticas de la zona, incluso presenta características dasonómicas superiores al país de origen. Por tal razón, se cree que la sobrevivencia de aliso no se vio influenciada por los tipos de fertilizantes y presentó una tasa de mortalidad baja (ver figura 4). Sin embargo, las características morfológicas y fisiológicas de las plantas provenientes del vivero fueron heterogéneas y se desconoce si el origen y la calidad de semilla provienen de árboles con características fenotípicas superiores.

Brown *et al.* (2018) manifiesta que la deficiencia de nutrientes, en especial el fósforo y la humedad del suelo limitan la sobrevivencia de *A. rubra*, es por ello que suministró tasas de 0, 15 o 30 g/árbol de superfosfato triple (0-45-0) en la etapa inicial de crecimiento y no determinó efectos sobre la mortalidad temprana.

**Figura 4**

*Sobrevivencia y mortalidad de A. nepalensis luego de 12 meses de evaluación*



#### 4.1.2 Altura total

El análisis estadístico muestra que la aplicación de dos tipos de fertilizantes químico; 60 g/planta de roca fosfórica (AQ) y orgánico; 500 g/planta de champiñonaza (AO) no presentaron diferencias significativas en la altura total de *A. nepalensis* (ver tabla 12).

**Tabla 12**

*Análisis estadístico de la altura total luego de la aplicación de dos tipos de fertilizantes; químico (AQ) y orgánico (AO)*

No. medición	Altura (cm) Tratamiento AQ	Altura (cm) Tratamiento AO	Normalidad (p Unilateral )	Homocedasticidad (pHomVar)	T de student (p-valor al 95%)
0	37,20	27,79	0,70	0,216	0,014*
1	74,93	59,68	0,58	0,2773	0,088 Ns.
2	121,98	120,92	0,76	0,886	0,942 Ns.
3	168,64	191,87	0,66	0,605	0,230 Ns.
4	245,07	260,12	0,91	0,097	0,477 Ns.
5	317,94	329,92	0,57	0,152	0,280 Ns.
$\bar{x}$	160,96	167,05			

*Nota.* \* = existen diferencias significativas. Ns = no existen diferencias significativas

Los fertilizantes fosfatados comúnmente se aplican para reducir la deficiencia de fósforo en el suelo y aumentar la capacidad de las plantas para tolerar la sequía (Tariq *et al.*, 2018). Sin embargo, a medida que disminuye la humedad del suelo, también disminuye la absorción de fósforo (Cramer, 2009) y afecta el crecimiento y productividad de las plantas (Malhotra *et al.*, 2018). El tratamiento orgánico presentó un mayor crecimiento, puesto que el 52% de este fertilizante está compuesto por materia orgánica (ver anexo 3) que mejora la retención de agua en el suelo (Hattena y Lilesb, 2019). Por tal razón, se presume que esta característica favoreció la absorción de fósforo e incrementó el crecimiento de aliso, superando al tratamiento químico, pero sin diferencias significativas. De manera similar, Tariq *et al* (2018) encontró que la adición de fósforo en *A. cremastogyne* aumentó levemente la altura bajo estrés por sequía en comparación con las plantas bien regadas, pero estas diferencias no fueron significativas.

La altura total promedio entre el tratamiento químico y orgánico fue de 3,29 m/año. Añazco *et al.* (2018) da a conocer que, en la zona de Intag, Imbabura - Ecuador, *A. nepalensis* creció 2,73 m/año. Tal diferencia de crecimiento se debe a que el autor realizó este estudio a diferentes altitudes, distintas edades, en varios tipos de prácticas agroforestales y sin la aplicación de fertilizantes. Por otro lado, Vallejos *et al* (2020) manifiesta que *A. nepalensis* creció 5,65 m/año, en la comunidad Santa Marianita de Caliche, Carchi, a una altitud de 1190 msnm, con precipitación promedio de 1950 mm/año y temperatura entre los 25 a 30° C, este crecimiento se puede atribuir a que uno de los factores que determinan la idoneidad del hábitat de esta especie es la precipitación (Rana *et al.*, 2018) y la temperatura.

#### **4.1.3 Diámetro basal**

A los 12 meses de evaluación el tratamiento químico; 60 g/planta de roca fosfórica (AQ) y orgánico; 500 g/planta de champiñonaza (AO) no presentó diferencias significativas (p- valor =

0,125) en el crecimiento basal de *A. nepalensis* (ver tabla 13). El crecimiento basal promedio registrado en esta investigación fue de 3,8 cm, superior al presentado por Arteaga (2018) en dos prácticas agroforestales: bosque; 2,96 cm y en linderos; 0,85 cm, en la parroquia de Peñaherrera, zona de Intag . Tales resultados, podrían haberse influenciado ya que Arteaga (2018) utilizó un tipo de fertilizante; bocashi, cuya concentración de fósforo es inferior a los fertilizantes propuestos en este estudio (ver anexo 3 y 4 ). Por lo tanto, la diferencia de crecimiento se atribuye a la adición de fósforo, dado que, es un elemento esencial para el desarrollo de las plantas (Sharma et al., 2013).

**Tabla 13**

*Análisis estadístico del diámetro basal luego de la aplicación de dos tipos de fertilizantes; químico (AQ) y orgánico (AO)*

No. medición	Diámetro basal (cm) Tratamiento AQ	Diámetro basal (cm) Tratamiento AO	Normalidad (p Unilateral )	Homocedasticidad (pHomVar)	T de student (p-valor al 95%)
0	0,63	0,61	0,91	0,76	0,46 Ns.
1	1,23	1,17	0,90	0,10	0,50 Ns.
2	1,89	2,19	0,24	0,78	0,11 Ns.
3	2,65	3,00	0,71	0,69	0,11 Ns.
4	3,52	3,94	0,93	0,11	0,12 Ns.
5	3,97	3,74	< 0,0001	0,01	M. Whitney Ns.
$\bar{x}$	2,32	2,44			

*Nota.* Ns= no existen diferencias significativas.

En la quinta medición el tratamiento orgánico registra un valor inferior en el diámetro, puesto que, al superar los tres metros de altura total esta variable se midió a la altura del pecho (DAP).

#### 4.1.4 Altura de copa

A los 12 meses de evaluación el análisis estadístico indica que existen diferencias significativas entre tratamientos, en la primera y la cuarta medición (ver tabla 14). No obstante, tales diferencias no se atribuyen al efecto de los tipos de fertilizantes, debido a que la primera fertilización se realizó de manera simultánea a la medición inicial y estas diferencias se deben a la heterogeneidad de las plantas (ver tabla 12, medición 0). Mientras que en la cuarta medición por acción independiente al investigador se podaron siete árboles en el tratamiento químico (AQ) y nueve en el tratamiento orgánico (AO).

**Tabla 14**

*Análisis estadístico de la altura de copa luego de la aplicación de dos tipos de fertilizantes; químico (AQ) y orgánico (AO)*

No. medición	Altura de copa (cm) AQ	Altura de copa (cm) AO	Normalidad (p Unilateral )	Homocedasticidad (pHomVar)	T de student (p-valor al 95%)
0	28,88	20,39	0,49	0,21	0,02*
1	65,81	50,58	0,18	0,20	0,07 Ns.
2	102,34	110,28	0,82	0,96	0,57 Ns.
3	149,72	180,72	0,84	0,59	0,10 Ns.
4	183,57	227,63	0,97	0,05	0,04*
5	282,17	283,21	0,54	0,16	0,96 Ns.
$\bar{x}$	135,41	145,47			

*Nota.* \*= existen diferencias significativas. Ns = no existen diferencias significativas

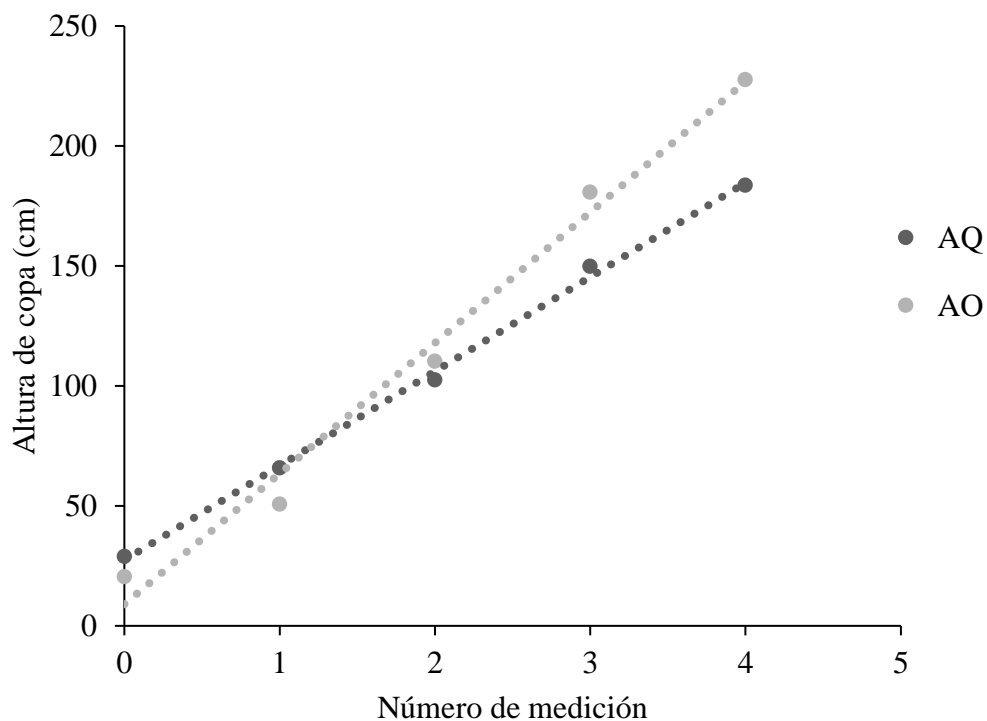
Por otro lado, el crecimiento en altura de copa y altura total presentaron un coeficiente de correlación de  $R= 0,988$  para el tratamiento químico y  $R= 0,99$  para el tratamiento orgánico, que



indica una relación proporcional entre variables. Además, la altura de copa se ajusta una tendencia lineal que expresa un incremento constante en función del tiempo (ver figura 5).

### Figura 5

*Altura total de A. nepalensis después de la aplicación de dos tipos de fertilizante; químico (AQ) y orgánico (AO)*



*Nota.* Ecuación lineal tratamiento AQ:  $y = 39,33x + 27,403$   $R^2 = 0,9976$ . Ecuación lineal tratamiento AO:  $y = 54,463x + 8,9931$ ,  $R^2 = 0,9859$ .

#### 4.1.5 Estado fitosanitario

El análisis no paramétrico indica que el estado fitosanitario de los tratamientos estudiados no presentó diferencias significativas ( $p$ -valor  $>0,999$ ). La mediana mostró que durante el período de evaluación el criterio excelente predominó en cuatro de las cinco mediciones (ver tabla 15), a diferencia de la cuarta medición donde las plantas presentan un criterio de clasificación bueno ya que fueron podadas.

*A. nepalensis* no requiere suelos de alta fertilidad (Praciak, 2013). Por esta razón, las plantas de aliso no presentaron problemas fitosanitarios significativos. Tal como, en el estudio de Arteaga (2018) donde refiere el estado fitosanitario de las plantas de *A. nepalensis* como sanas, es decir sin evidencia de problemas por plagas o enfermedades.

**Tabla 15**

*Análisis no paramétrico del estado fitosanitario de A. nepalensis en función de los tratamientos aplicados; químico (AQ) y orgánico (AO)*

No. de medición	Mediana del tratamiento AQ	Mediana del tratamiento AO	Friedman (95%)
0	4	4	Ns.
1	4	4	
2	4	4	
3	4	4	
4	3	3	
5	4	4	

*Nota.* Ns = no existen diferencias significativas.

#### **4.1.6 Morfología**

El análisis no paramétrico entre los tratamientos estudiados; químico (AQ) y orgánico (AO) no presentó diferencias significativas en la morfología de *A. nepalensis* al 95 % de probabilidad estadística (ver tabla 16).

La mediana mostró que las características de los árboles evaluados cambiaron progresivamente de torcidos a rectos, ya que como ratifica Conn et al. (2017, citado por Vargas, 2019) las características morfológicas, dimensionales, funcionales y anatómicas de las plantas cambian durante su desarrollo.

**Tabla 16**

*Análisis no parámetro de la morfología de A. nepalensis en función de los tratamientos aplicados; químico (AQ) y orgánico (AO)*

No. de medición	Tratamiento AQ	Tratamiento AO	Prueba de Friedman
0	3	3	Ns.
1	3	3	
2	1	1	
3	1	1	
4	1	1	
5	1	1	

*Nota.* Ns = no existen diferencias significativas.

## **4.2 Crecimiento inicial de *C. arabica***

### **4.2.1 Sobrevivencia**

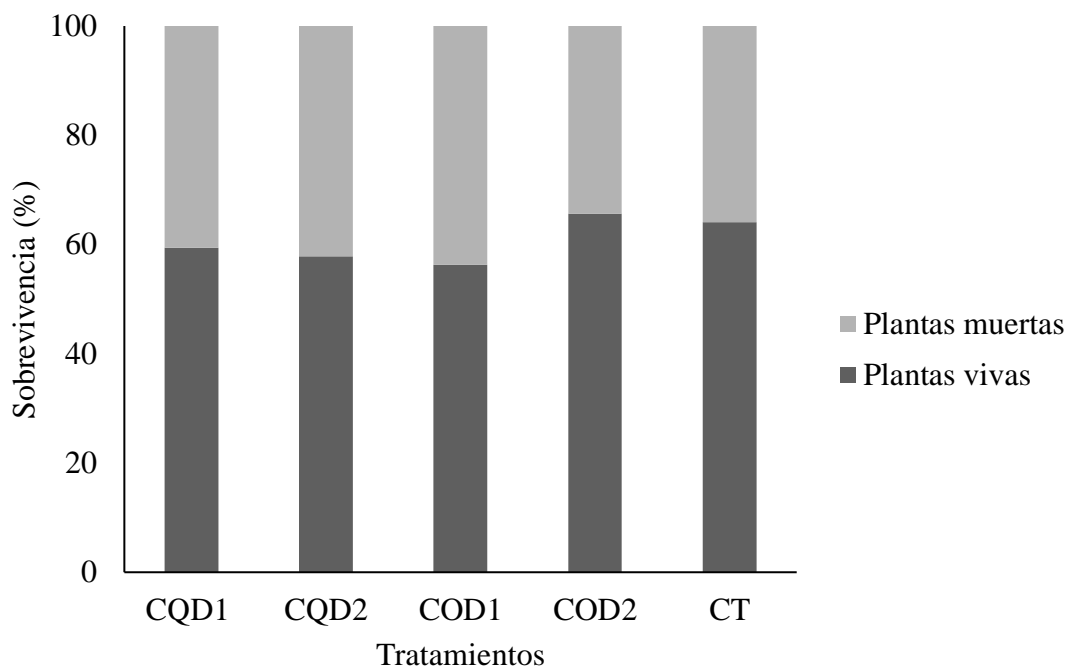
El análisis no paramétrico muestra que los tratamientos estudiados no presentaron diferencias significativas ( $p\text{-valor} > 0,05$ ) en la sobrevivencia de *C. arabica*. A los 12 meses de evaluación sobrevivió el 60,6% de las plantas de cafeto, es decir, que 126 de 320 plantas no sobrevivieron.

Rivera (2018), manifiesta que daños mecánicos y mal formaciones en el sistema radicular incapacitan temporalmente la extracción de agua y minerales del suelo. De modo que, la sobrevivencia, crecimiento y productividad de las plantas del cafeto puede verse afectado, siendo necesario un período recuperación que puede tomar entre dos y seis meses. Considerando que las plantas procedentes del vivero presentaron mal formaciones en el sistema radicular (ver anexo 5),

siendo necesario una poda de raíz, la baja sobrevivencia (ver figura 6) se atribuye a esta incapacidad, que a su vez limitó la absorción de los fertilizantes aplicados.

### Figura 6

*Sobrevivencia y mortalidad de los tratamientos aplicados a las plantas *C. arabica* durante 12 meses de evaluación*



#### 4.2.2 Altura total

El análisis de varianza muestra que a los 12 meses de evaluación los tratamientos estudiados no presentaron diferencias significativas en la altura total de *C. arabica* (ver tabla 17) al 95 % de probabilidad estadística. La altura total del café se vio afectada por la muerte regresiva de ramas orto y plagio trópicas (ver anexo 6) desde la medición inicial hasta la segunda medición, a partir de este punto la afectación decreció de manera progresiva (ver figura 7). En orden jerárquico los tratamientos más afectados fueron CT, COD<sub>2</sub>, COD<sub>1</sub>, CQD<sub>2</sub>, CQD<sub>1</sub>. A su vez, los tratamientos menos afectados presentaron el mayor incremento en altura total.

**Tabla 17**

*Análisis estadístico de la altura total de C. arabica luego de la aplicación de dos tipos de fertilizantes; químico y orgánico*

Tratamientos	Altura total promedio (cm)	Shapiro Wilks (p-valor)	Levene (p-valor)	ANOVA de tratamientos (p-valor)	de Coeficiente de variación (%)
CQD <sub>1</sub>	40,58	0,90	0,95	0,57 Ns.	5,90
CQD <sub>2</sub>	40,89				
COD <sub>1</sub>	39,57				
COD <sub>2</sub>	39,46				
CT	38,31				
$\bar{x}$	39,76				

*Nota.* Ns = no existen diferencias significativas.

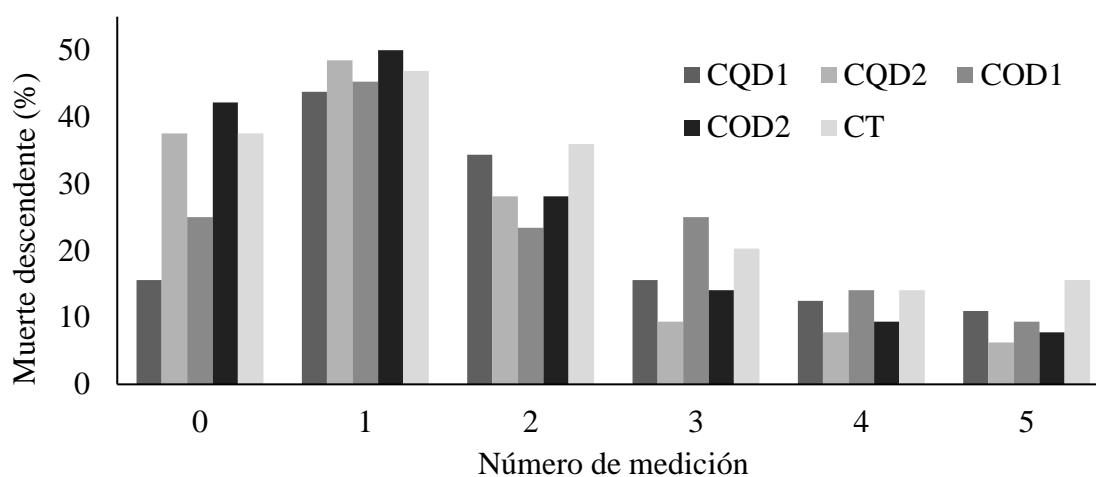
DaMatta *et al.* (2007) sostiene que la muerte regresiva o muerte descendente de ramas es un fenómeno de naturaleza compleja, en el cual, las plantas afectadas evidencian necrosis descendente de los tejidos en desarrollo que avanza hasta el tejido lignificado donde se detiene (Menza y Peláez, 2016). Este fenómeno se debe a tensiones ambientales como déficit de agua atmosférica (ver anexo 7), altas temperaturas, alta insolación o los efectos combinados de estas tensiones. Al mismo tiempo, la muerte descendente está precedida por la muerte de una gran proporción de raíces absorbentes que, en consecuencia, limitan la absorción de nutrientes del suelo Rena y DaMatta (2002; citado por DaMatta, 2007).

Se determinó que la altura total promedio de todos los tratamientos fue 39,76 cm/año, un valor inferior al registrado por Escobar *et al.* (2017) en el municipio de Sandoná, San Isidro a 2015

msnm, donde las plantas de cafeto alcanzaron una altura de 62,21 cm/año. El crecimiento interrumpido por la muerte descendente durante el período de evaluación ocasionó tales diferencias en el crecimiento.

### Figura 7

*Comportamiento de la muerte descendente según los tratamientos aplicados a C. arabica, en función de las mediciones realizadas*



#### 4.2.3 Diámetro basal

La prueba de Friedman indica que el diámetro basal, a los 12 meses de evaluación, no se vio significativamente afectado ( $p$ -valor  $> 0,05$ ) por los tratamientos aplicados (ver tabla 18). El diámetro basal promedio fue de 0,79 cm. Escobar *et al.* (2017) en el municipio de Sandoná, San Isidro, registró un diámetro basal de 2,07 cm.

Según Razz *et al.* (1994, citado por Escobar, 2017) el desarrollo del tallo se debe a una respuesta de la planta que asegura un mejor anclaje ante un aumento del peso de la parte aérea. Siendo así, se cree que el peso de la parte aérea de las plantas de cafeto al haber sido afectado por la muerte descendente de ramas orto y plagio trópicas ocasionó un desarrollo limitado del diámetro basal.

**Tabla 18**

*Análisis estadístico del diámetro basal de C. arabica luego de la aplicación de dos tipos de fertilizantes; químico y orgánico*

Tratamientos	Diámetro basal promedio (cm)	Shapiro Wilks (p-valor)	Levene (p-valor)	Friedman (95%)
CQD <sub>1</sub>	0,79	0,92	0,03	Ns.
CQD <sub>2</sub>	0,81			
COD <sub>1</sub>	0,77			
COD <sub>2</sub>	0,83			
CT	0,77			

*Nota.* Ns = no existen diferencias significativas.

#### 4.2.4 *Altura de copa*

El análisis no paramétrico muestra que los tratamientos aplicados no presentaron diferencias significativas en la altura de copa de *C. arabica* (ver tabla 19). La altura de copa promedio fue de 13 cm y al igual que la altura total, esta variable se vio afectada por la muerte descendente del ápice terminal.

**Tabla 19**

*Análisis estadístico de la altura de copa de C. arabica luego de la aplicación de dos tipos de fertilizantes; químico y orgánico*

Tratamientos	Altura de copa promedio (cm)	Shapiro Wilks (p-valor)	Levene (p-valor)	Friedman (95%)
CQD <sub>1</sub>	12,51	0,92	0,03	Ns.
CQD <sub>2</sub>	12,67			
COD <sub>1</sub>	13,50			
COD <sub>2</sub>	12,92			
CT	13,30			

*Nota.* Ns = no existen diferencias significativas.

#### 4.2.5 Estado fitosanitario

El análisis no paramétrico muestra que los tratamientos estudiados no presentaron diferencias significativas en el estado fitosanitario de *C. arabica* (ver tabla 20). La mediana indica que la categoría bueno predominó en la salud de las plantas de café.

Durante el período de evaluación se registró la presencia de dos plagas (ver anexo 6) *Leucoptera coffeella* y *Coccus viridis*. El minador de hoja *L. coffeella* no provocó daños significativos en las plantas de café, sin embargo, en su estado larvario puede consumir entre 1 a 2 cm<sup>2</sup> del área foliar (Mendoza, 1995). Por otro lado, *C. viridis*, tampoco ocasionó daños, pero este insecto se presenta generalmente en plantas con problemas radiculares y absorbe la sabia de los tejidos nuevos, debilitando la planta (Padilla, 2005).

**Tabla 20**

*Análisis no paramétrico del estado fitosanitario de C. arabica luego de la aplicación de dos tipos de fertilizantes; químico y orgánico*

Bloques	CQD1	CQD2	COD1	COD2	CT	Friedman (95%)
I	3	4	4	4	4	0,30 Ns.
II	3	3	3	3	3	
III	3	3	3	3	3	
IV	3	3	3	4	3	

*Nota.* Ns = no existen diferencias significativas.

### 4.3 Porcentaje de sombra de los cultivos complementarios

#### 4.3.1 Maíz

El cultivo de maíz no aportó sombra al sistema agroforestal, debido a un trastorno fisiológico durante el crecimiento, presentando una altura inferior a los 60 cm y ausencia de



mazorcas. Roveda y Polo (2007) sostienen que el maíz bajo condiciones de estrés por fósforo reduce el crecimiento vegetal, mientras que la deficiencia de boro provoca entrenudos acortados.

El análisis de suelo muestra que en el área de estudio los niveles de fósforo y boro son bajos (ver anexo 2), es por ello, que el cultivo de maíz no se desarrolló. También se cree que la procedencia de la semilla utilizada no se adapta a las condiciones edafoclimáticas de la zona.

#### **4.3.2 Plátano**

A los 12 meses de evaluación el cultivo de plátano aportó 3,6 % de sombra al sistema agroforestal. En promedio esta especie creció 71,15 cm en altura total, 21,55 cm en altura de copa, 5,77 cm de diámetro basal y 1,2 m de área de copa.

La sombra es trascendental para el cultivo de café, ya que el aparato fotosintético del cafeto está adaptado a condiciones de sombra, es así como tiene un efecto directo sobre el balance hídrico, nutrición mineral, rendimiento, calidad del grano y resistencia a plagas y enfermedades (Montagnini et al, 2015). Por tal razón, determinar el porcentaje óptimo de sombra será determinante para esta investigación a futuro. Farfán y Jaramillo (2013) manifiestan que el nivel de sombrero óptimo fluctúa entre 35 y 45 %.

#### **4.4 Costo de establecimiento del sistema agroforestal**

Se determinó que para establecer una hectárea de un sistema agroforestal con *A. nepalensis*, *C. arabica* y *Musa* spp, a una densidad de 80, 3000 y 280 plantas respectivamente, se requiere una inversión inicial de 3248, 85 USD (ver anexo 8) . El Ministerio de Agricultura y Pesca ( MAGAP, 2014, citado por Jácome y Garrido, 2017) sostiene que para establecer un sistema con la misma densidad de plantas se requiere una inversión de 3183 USD, sin considerar depreciación y sistema de riego, al igual que en este estudio. De igual manera el INIAP (2014), propone una inversión de

3387 USD, de tal forma que los costos propuestos en esta investigación se encuentran dentro de un rango moderado.

La estructura de costos muestra que, en promedio la mano de obra durante un período de 15 años podría representar el 61,92 % de los egresos anuales, seguido por los insumos, 32,55 %, transporte 5,53 %. Gokavi *et al.* (2021) señala que la mano de obra constituye alrededor del 60% del cultivo de café, mientras que para Alves *et al.* (2015), representa el 48% de los costos totales, seguido por los costos de insumos; 28%. El porcentaje de variación en la mano de obra puede verse influenciado por el valor unitario del jornal, entre tanto, los insumos por la naturaleza del mismo, por ejemplo, el tipo de fertilizante; sea orgánico o químico.

Por otro lado, el análisis financiero del sistema agroforestal propuesto, proyectado a 15 años con una tasa de interés del 8,53 % para el segmento productivo agrícola y ganadero según el Banco Central del Ecuador, presenta un valor actual neto (VAN) de 9760,32 USD, tasa interna de retorno (TIR) del 32%, relación beneficio costo (B/C) de 4,00 USD y un período de recuperación de la inversión al sexto año. Jezeer *et al.* (2017) manifiesta que los sistemas sombreados dedicados a la producción de café tienen una tendencia de relación beneficio costo de 1,66 USD mientras que los convencionales 1,44 USD. Sin embargo, para Paredes *et al.* (2020) en un sistema agroforestal con *A. neplensis* y café en la zona de Intag a los 10 años, obtuvo un VNA de \$ 10555,14, TIR del 58%, relación B/C de 6,28 USD y período de recuperación de la inversión al tercer año.

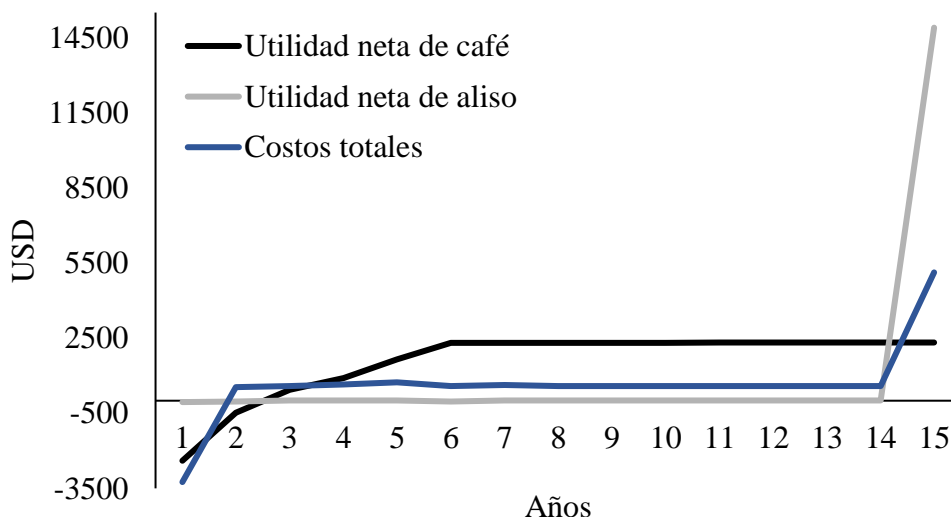
Do *et al.* (2020) dice que la inversión inicial en sistemas agroforestales basados en café se puede recuperar en un lapso de siete a ocho años. Los indicadores financieros; VAN, TIR, B/C y período de recuperación de la inversión relacionados al café y aliso presentan una gran variación (Yamberla, 2017; Ocampo, 2018; Espinosa, 2018; Molina, 2020 y Pazmiño, 2021). Se cree que estas variaciones se deben a la densidad de plantas por hectárea, rendimiento del cultivo y madera,

valor unitario del jornal, tipo de insumos, tasa de interés, otros. No obstante, los autores citados coinciden en que estas especies en diferentes prácticas agroforestales pueden ser rentables, al igual que el sistema propuesto en esta investigación. Ya que, por ejemplo, si la inversión inicial es depositada a plazo fijo durante 15 años en un banco, con una tasa de interés anual del 5,96 %, se obtendría solo el 24% del valor actual neto propuesto en esta investigación, ratificando la rentabilidad del sistema.

En promedio el café podría generar un ingreso neto de 2012,23 USD/ha/año, considerando una producción constante a partir del sexto año (ver figura 8) de 16 qq/ha a un precio de 181,5 USD (ver anexo 9) y un costo anual de 697,8 USD/ha/año, que incluye mano de obra, insumos y transporte. Lyngbæk *et al.* (2001) manifiesta que los ingresos netos en la producción de café en Costa Rica fueron de 1448 USD/ha/año, la diferencia puede estar influenciada por el rendimiento y el precio del café. Por otro lado, *A. nepalensis* a los 15 años podría generar una utilidad neta de 14896,44 USD, con un gasto en mano de obra de 2923,56 USD que incluye inventario, tumba, apilado, aserrado y costo por transporte de 1620 USD.

### Figura 8

*Comportamiento de los ingresos netos de café y aliso, así como la suma de los costos de mano de obra, insumos y transporte*



## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

La aplicación de dos tipos de fertilizantes; químico y orgánico no influyó significativamente en el crecimiento inicial de *C. arabica* bajo un sistema agroforestal en el sector San Antonio, zona de Intag.

La fertilización inicial de *A. nepalensis* no presentó diferencias estadísticas entre tratamientos, sin embargo, las condiciones climáticas del sector y el fertilizante orgánico incrementaron la altura total sobre el valor registrado en la zona.

El análisis de costos indica que establecer una hectárea de un sistema agroforestal con *A. nepalensis* y *C. arabica* en el sector San Antonio puede ser una alternativa económica rentable para el agricultor.

#### 5.2 Recomendaciones

Para el establecimiento de futuros sistemas agroforestales con *A. nepalensis* se recomienda aplicar 500 g/árbol del fertilizante orgánico (champiñonaza) alrededor de la planta en forma de medialuna, a una profundidad de 10 a 15 cm, tres veces al año, por su potencial influencia en la altura total.

Dar continuidad a la presente investigación hasta los primeros años de producción del café, ya que, al incrementar la productividad, se podría generar ingresos importantes para los pequeños caficultores en la zona de Intag, considerando que el café unas de las bebidas más consumidos en el mundo, cuya demanda aumenta constantemente cada año.

## CAPÍTULO VI

### REFERENCIAS

- Aguilar, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones. *Salud en Tabasco*, 11 (1-2), 333-338. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48711206>
- Alegre, J., García S., Vega, R., y Arévalo Y. (2015). Manal reciclaje de nutrientes en sistemas agroforestales. <https://www.researchgate.net/publication/323839692>
- Alejandro, I., Tercedor, J., y Vega, F. (2018). Observing the devastating coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) inside the coffee berry using micro-computed tomography. *Scientific Reports*, 8, 17033. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35324-4>
- Alves, E., Silva, M., Oliveira, S., Barrella, T., y Santos, R. (2015). Economic analysis of a coffee-banana system of a family-based agriculture at the atlantic forest zone, Brazil. *Ciência e Agrotecnologia*, 39 (3), 232-239. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542015000300004>
- Anilema, J. (2018). *Aplicación de tres dosis de fertilizante en el crecimiento y desarrollo de *Alnus acuminata* Kunth, (Aliso), en la comunidad de Tiocajas, Cantón Guamote, Provincia de Chimborazo*. [Trabajo de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio digital Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10365>
- Añazco, M., Vallejos H., Vizcaíno M. (2018). Dinámica de crecimiento de *Alnus nepalensis* D. Don en el noroccidente de Ecuador continental. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*. 6 (3), 354-365.

- Aragón, J., Albuja, M., Guzmán, J., Burbano, E., y Aragón, M. (2019). Financiamiento productivo a los agricultores en la zona de Intag, Cantón Cotacachi. *Análes Científicos*, 80 (2), 355-363. <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v80i2.1449>
- Arango, P. (2019). Composición y estructura del dosel de sombra en sistemas agroforestales con café de tres municipios de Cundinamarca, Colombia. *Ciência Florestal*, 29 (2), 685-697. <https://doi.org/10.5902/1980509827037>
- Arteaga, D. (2018). *Crecimiento inicial de aliso (Alnus.nepelnsis D. Don) en dos prácticas agroforestales en la zona de Intag*. [Trabajo de grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio digital Universidad Técnica del Norte. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8485>
- Atangana, A., Khasa, D., Chang, S., y Degrande, A. (2013). *Definitions and Classification of Agroforestry Systems*. *Tropical Agroforestry*, 35–47. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-7723-1\\_3](https://doi.org/10.1007/978-94-007-7723-1_3)
- Avelino, J., Cristancho, M., Georgiu, S., Imbach, P., Aguilar, L., Bornemann, G., Läderach, P., Anzueto, F., Hruska, A., y Morales, C. (2015). The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Security*, 7, 303-321. <https://doi.org/10.1007/s12571-015-0446-9>
- Bagny, L., Roudine, S., Quintero, P., Allinne, C., Daout, D., Mauxion, R., y Carval, D. (2019). Pest-regulating networks of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in agroforestry systems. *Crop Protection*. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.105036>
- Barker, A. (2019). *Fertilizers*. Encyclopedia of Analytical Science (Third Edition), 134-144. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.00142-6>

- Bedoya, M., y Salazar R. (2014). Optimización del uso de fertilizantes en el cultivo de café. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5 (SPE8), 1433-1439. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342014001001433&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342014001001433&script=sci_arttext)
- Brown, K., y Courtin, P. (2018). Can phosphorus additions increase long-term growth and survival of red alder (*Alnus rubra* Bong.) on periodically dry sites?. *Forest Ecology and Management*, 430. 545-557. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.08.035>
- CABI. (2013). *Encyclopedia of Forest Tree*. Editorial Lainsbury.
- Cade-Menun, B. (2017). Characterizing phosphorus forms in cropland soils with solution <sup>31</sup>P-NMR: past studies and future research needs. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4 (1). <https://doi.org/10.1186/s40538-017-0098-4>
- Cardinael, R., Chevallier, T., Cambou, A., Béral, C., Barthés, B. G., Dupraz, C., ... Chenu, C. (2017). Increased soil organic carbon stocks under agroforestry: A survey of six different sites in France. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 236, 243–255. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.12.011>
- Castrillo, L., Wraight, S., Galaini, S., Matsumoto, T., Howes, R., y Keith, L. M. (2020). Genetic diversity among naturally-occurring strains of *Beauveria bassiana* associated with the introduced coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, (Coleoptera: Curculionidae) on Hawai'i Island. *Journal of Invertebrate Pathology*, 175, 107456. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2020.107456>
- Ceasar, S. A., Hodge, A., Baker, A., y Baldwin, S. A. (2014). Phosphate Concentration and Arbuscular Mycorrhizal Colonisation Influence the Growth, Yield and Expression of

- Twelve PHT1 Family Phosphate Transporters in Foxtail Millet (*Setaria italica*). *PLoS ONE*, 9 (9), e108459. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108459>
- Cevallos, R. (2017). *Determinación de la ubicación geográfica de A. nepalensis D. Don en la zona de Intag noroccidente del Ecuador*. [Trabajo de grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio digital Universidad Técnica del Norte. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7001>
- Chen, J. (2006). The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. In *International workshop on sustained management of the soil-rhizosphere system for efficient crop production and fertilizer use*, 16, (20), 1-11. [https://www.fftc.org.tw/htmlarea\\_file/activities/20110719102200/7.pdf](https://www.fftc.org.tw/htmlarea_file/activities/20110719102200/7.pdf)
- Conti, M. (2000). Dinámica de la liberación y fijación de potasio en el suelo. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur. INPOFOS*, 8, 25-37. [http://lacs.ipni.net/0/C2645DDD711C34D303257967007D6ED5/\\$FILE/AA%204.pdf](http://lacs.ipni.net/0/C2645DDD711C34D303257967007D6ED5/$FILE/AA%204.pdf)
- Coskun, D., Britto, D., y Kronzucker, H. (2016). Nutrient constraints on terrestrial carbon fixation: The role of nitrogen. *Journal of Plant Physiology*, 203, 95–109. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.05.016>
- DaMatta, F. M. (2004). Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Research*, 86 (2-3), 99–114. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.09.001>
- DaMatta, F., Ronchi, C., Maestri, M., y Barros, R. (2007). Ecophysiology of coffee growth and production. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19 (4), 485–510. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400014>



- Dantas, J., Motta, I., Vidal, L., Bílio, J., Pupe, J. M., Veiga, A., ... y Albuquerque, É. (2020). A Comprehensive Review of the Coffee Leaf Miner *Leucoptera Coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae), With Special Regard to Neotropical Impacts, Pest Management and Control. *Preprints*. <https://doi.org/10.20944/preprints202010.0629.v1>
- De Sousa, K., Detlefsen, G., De Melo Virginio Filho, E., Tobar, D., y Casanoves, F. (2015). Timber yield from smallholder agroforestry systems in Nicaragua and Honduras. *Agroforestry Systems*, 90 (2), 207–218. <https://doi.org/10.1007/s10457-015-9846-2>
- Do, H., Luedeling, E., y Whitney, C. (2020). Decision analysis of agroforestry options reveals adoption risks for resource-poor farmers. *Agronomy for Sustainable Development*, 40 (3). <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00624-5>
- Dollinger, J., y Jose, S. (2018). Agroforestry for soil health. *Agroforestry Systems*. 92, 213-219. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0223-9>
- Duicela, L. A. (2016). Investigación y desarrollo cafetalero: Situación actual y perspectivas. *Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 15 (1). 307-325. <http://scielo.sld.cu/pdf/reds/v6n1/reds15118.pdf>
- Durand, C., Tixier, P., Quinteros, A., Andreotti, F., Rapidel, B., Tauvel, C., y Allinne, C. (2020). Analysis of interactions amongst shade trees, coffee foliar diseases and coffee yield in multistrata agroforestry systems. *Crop Protection*, 133, 105137. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105137>
- ELD Initiative. (2015). Report for policy and decision makers: Reaping economic and environmental benefits from sustainable land management. [www.eld-initiative.org](http://www.eld-initiative.org)

- Escobar, H. C., Muñoz, J., Checa, J., y Noguera, W. (2017). Initial growth of coffee (*Coffea arabica* L. var) castillo in the coffee zone of Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 36 (1), 124-137. <https://doi.org/10.22267/rcia.1936E.112>
- Espinosa, A. (2018). *Impactos de la sombra de espino Vachellia macracantha Seigler & Ebinger en asocio con café Coffea arabica L. var. Caturra rojo en la parroquia Santa Catalina de Salinas, provincia de Imbabura*. [Trabajo de grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8647>
- Farfán, F., y Jaramillo, A. (2013). Sombrío para el cultivo del café según la nubosidad de la región. Repositorio digital del Centro Nacional de Investigaciones del Café. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/376>
- Farfán, V., F. (2014). Agroforestería y Sistemas Agroforestales con Café. Cenicafé. [https://www.cenicafe.org/es/publications/Agroforester%C3%ADa\\_y\\_sistemas\\_agroforestales\\_con\\_caf%C3%A9.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/Agroforester%C3%ADa_y_sistemas_agroforestales_con_caf%C3%A9.pdf)
- Farfán, V., F. (2016). Sombríos transitorios para el establecimiento del café. Repositorio digital del Centro Nacional de Investigaciones del Café. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/710>
- Farinango, L. (2018). *Fijación de nitrógeno en nódulos de raíces de Alnus nepalensis D. Don en linderos a diferentes edades en la zona de Intag, Noroccidente del Ecuador*. [Trabajo de grado, Universidad Técnica del Norte Ibarra Ecuador]. Repositorio digital de la Universidad Técnica del Norte. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8076>

- Fernández, M. (2007). Fósforo: amigo o enemigo. ICIDCA. *Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, XLI (2), 51-57. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223114970009>
- Fick, A. (2021). *Fertilizantes y fertilización*. Reverté. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=2VApEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=tipos+de+fertilizantes&ots=AwR8HGuX-D&sig=LL9gDZJfUz1683CzjF-I5inByoE#v=onepage&q=tipos%20de%20fertilizantes&f=true>
- Gardner, I., Clelland, D., y Scotta, A. (1984). Mycorrhizal improvement in non leguminous nitrogen fixing associations with particular reference to *Hippophae rhamnoides* L. *Plan and Soil*, 78, 189-199.
- Gokavi, N., Mote, K., Jayakumar, M., Raghuramulu, Y., y Surendran, U. (2021). The effect of modified pruning and planting systems on growth, yield, labour use efficiency and economics of Arabica coffee. *Scientia Horticulturae*, 276, 109764. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109764>
- Gomes, L., Bianchi, F., Cardoso, I., Fernandes, R., Filho, E., y Schulte, R. (2020). Agroforestry systems can mitigate the impacts of climate change on coffee production: A spatially explicit assessment in Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 294 (1), 106858. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106858>
- Guo, W. (2018). Application of geographic information system and automated guidance system in optimizing contour and terrace farming. *Agriculture*, 8(9), 142. <https://doi.org/10.3390/agriculture8090142>
- Hartemink, A. (2005) Existencias de nutrientes, ciclos de nutrientes y cambios en el suelo en los ecosistemas de cacao: una revisión. *Adv Agron*, 86, 227–253.

Hattena, J., y Lilesb, G. (2019). A ‘healthy’balance e The role of physical and chemical properties maintaining forest soil function in. *Global Change and Forest Soils: Cultivating Stewardship of a Finite Natural Resource*, 373.

Hirel, B., Le Gouis, J., Ney, B., y Gallais, A. (2007). The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. *Journal of Experimental Botany*, 58 (9), 2369–2387.  
<https://doi.org/10.1093/jxb/erm097>

Imbaquingo G., y Naranjo, M. (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 & CE Hubb)*. [Trabajo de grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio digital Universidad Técnica del Norte. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/812>

INIAP. (1993). Manual del cultivo de café. Repositorio digital Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1619>

Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Quito (Ecuador). Estación Experimental Santa Catalina. (1974). Como tomar muestras de suelo para su análisis químico.

International Coffee Organization. (2019). Historical Data on the Global Coffee Trade. [http://www.ico.org/new\\_historical.asp?section=Statistics](http://www.ico.org/new_historical.asp?section=Statistics)

Jácome, A., y Garrido, A. (2017). A Real Option Analysis applied to the production of Arabica and Robusta Coffee in Ecuador. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 15 (1), e0104.  
<https://doi.org/10.5424/sjar/2017151-10098>

- Jezeer, R., Verweij, P., Santos, M., y Boot, R. (2017). Shaded Coffee and Cocoa – Double Dividend for Biodiversity and Small-scale Farmers. *Ecological Economics*, 140, 136–145. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.04.019>
- Joker, D.(2000). *Alnus nepalensis* D. Don. *Seed Leaflet-Danida Forest See Centre*, 8, 2.
- Kohli, R., Singh, H., Batish, D., y Jose, S. (2007). Ecological interactions in agroforestry: an overview. *Ecological basis of agroforestry*, 3-14.
- Krishnan, S. (2017). Sustainable Coffe Production. *Enviromental Science*. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.224>
- Leakey, R. (2017). *Definition of Agroforestry Revisited*. *Multifunctional Agriculture*, 5-6. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805356-0.00001-5>
- Laghari, S., Wahocho, N., Laghari, G., HafeezLaghari, A., MustafaBhabhan, G., HussainTalpur, K., Bhutto, T., Wahocho, S., y Lashari, A. (2016). Role of nitrogen for plant growth and development: a review. *Advances in Environmental Biology*, 10 (9), 209+.
- Loong, L., Zwicker, M., y Wang, X. (2019).Coffee: One of the Most Consumed Beverages in the World. *Comprehensive Biotechnology*, 4, 275-285.
- López, M., y Molina, R. (2007). *Sistemas agroforestales*. <https://repositorio.una.edu.ni/2443/>
- Lubkowski, K. (216). Environmental impact of fertilizer use and slow release of mineral nutrients as a response to this challenge. *Polish Journal of Chemical Technology*, 18 (1), 72–79. 10.1515/pjct-2016-0012
- Lyngbæk, A., Muschler, R., y Sinclair, F. (2001). Productivity and profitability of multistrata organic versus conventional coffee farms in Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 53 (2), 205–213. <https://doi.org/10.1023/A:1013332722014>

- MAG. (2019). Informe de rendimientos objetivos de café (grano oro) 2019.: [http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/estudios/rendimientos/cafe/rendimiento\\_cafe\\_2019.pdf](http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/estudios/rendimientos/cafe/rendimiento_cafe_2019.pdf)
- Malhotra, H., Sharma, S., y Pandey, R. (2018). Phosphorus nutrition: plant growth in response to deficiency and excess. *Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance*, Springer, 71-190. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-9044-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-10-9044-8_7)
- McAdam, J., Burgess, P., Graves, A., Rigueiro, A., y Mosquera, M. (2009). Classifications and Functions of Agroforestry Systems in Europe. *Agroforestry in Europe*, 6, 21–4. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8272-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8272-6_2)
- Melke, A., y Ittana, F. (2015). Nutritional requirement and management of Arabica coffee (*Coffea arabica* L.) in Ethiopia: National and global perspectives. *Journal of Experimental Agriculture International*, 5 (5), 400-418. <https://doi.org/10.9734/AJEA/2015/12510>
- Mendoza Mora, J. R. (1995). El minador de la hoja del café, *Perileucoptera coffeella* y su control. Repositorio digital INIAP. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1545>
- Menza, H., y Peláez, M. (2016). Epidemiología de la muerte descendente del cafeto (*Phoma* spp) en tres sistemas de producción de café. *Revista Cenicafe*, 67 (1), 66-77. <https://www.cenicafe.org/es/publications/5.Epidemiolog%C3%ADa.pdf>
- Molina, D. (2020). *Comportamiento del cultivo de café (Coffea rábica l.) en un sistema agroforestal establecido, en la parroquia Peñaherrera, Imbabura*. [Trabajo de grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio digital Universidad Técnica del Norte. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10505>

- Monsalve, D., Trujillo, M., y Chavez, D. (2015). Automatic classification of nutritional deficiencies in coffee plants. Monsalve, D., Trujillo, M. y Chaves, D. (2015). *VI Congreso Latinoamericano de Medios Electrónicos y en Red (LACNEM 2015)*. 10.1049 / ic.2015.0317
- Montagnini, F., Preveti, L. y Thrupp, L. (1992). *Sistemas agroforestales: principios y aplicaciones en los trópicos*. San José, Costa Rica: Organización para Estudios Tropicales.
- Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., y Eibl, B. (2015). *Sistemas Agroforestales. Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales*. Editorial CIPAV.
- Morari, F., Vellidis, G. y Gray, P. (2011). *Fertilizers*. *Encyclopedia of Environmental Health*, 721-737. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52272-6.00464-5>
- Mu, X., y Chen, Y. (2020). The physiological response of photosynthesis to nitrogen deficiency. *Plant Physiology and Biochemistry*, 158, 76-82. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.019>
- Nair, P.K.R. (1985). Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*. 3,97.
- Navarro, G., y Navarro, S. (2014). *Fertilizantes química y acción*. Ediciones Mundi-Prensa. [https://books.google.com.ec/books/about/Fertilizantes\\_qu%C3%ADmica\\_y\\_acci%C3%B3n.html?id=3McUBQAAQBAJ&printsec=frontcover&source=hp\\_read\\_button&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books/about/Fertilizantes_qu%C3%ADmica_y_acci%C3%B3n.html?id=3McUBQAAQBAJ&printsec=frontcover&source=hp_read_button&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Nygren, P., Fernández, M., Harmand, J., y Leblanch, H. (2012). Symbiotic dinitrogen fixation by trees: an underestimated resource in agroforestry systems? *Agroecosystems*, 94 (2-3), 123-160. <https://doi.org/10.1007/s10705-012-9542-9>

- Ocampo, L. (2018). *Sostenibilidad del sistema silvopastoril con *Alnus nepalensis* D. Don en asocio con *Brachiaria decumbens* Stapf en la parroquia de Peñaherrera, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura*. [Trabajo de grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio digital Universidad Técnica del Norte. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8516>
- Orwa, C., Mutua, K., Jamnadass, R. y Anthony, S. (2009). *Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0*
- Ospina A. (2006). *Agroforestería; Aportes conceptuales, metodológicos y prácticos para el estudio agroforestal*. ACASOC. [http://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2010/08/libro\\_agroforesteria.pdf](http://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2010/08/libro_agroforesteria.pdf)
- Padilla, C. (2005). *Manual de Caficultura Orgánica*. FIAGRO. El Salvador.
- Palomeque, F. (2009). *Sistemas agroforestales*. México.
- Paredes, H., Vallejos, A., y Añazco, M. (2021). *Evaluación financiera de un sistema agroforestal de *Alnus nepalensis* D. Don (aliso), en asocio con *Coffea arabica* (café) y *Calliandra pittieri* Standl (tura), en la zona de Intag, Cotacachi, Imbabura. IV Congreso Internacional de Ingeniería Ambiental Forestal y Ecoturismo*. Quevedo-Ecuador.
- Pazmiño, B. (2021). *Sostenibilidad de la práctica agroforestal (linderos), en la zona de Intag, noroccidente del Ecuador*. [Trabajo de grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio digital Universidad Técnica del Norte. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10880>



- Piatio, K., Lefort, F., Subía, C., Caicedo, C., Calderón, D., Pico, J. y Norgove, L. (2020). Effects of shade trees on robusta coffee growth, yield and quality. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 40, 38. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00642-3>
- Praciak, A. (2013). The CABI encyclopedia of forest trees. *International Forestry Review*, 16 (3), 377-379.
- Prieto, R., Duarte, S., Goche, T., González, O., y Pulgarín, G. (2018). Supervivencia y crecimiento de dos especies forestales, con base en la morfología inicial al plantarse. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9 (47), 151-168. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i47.182>
- Ranna, H., Rana S., Shrestha, K., Sujankhu, S., y Ranjitkar, S. (2018). Determining bioclimatic space of Himalayan alder for agroforestry systems in Nepal. *Plant Diversity*, 40 (1), 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2017.11.002>
- Rawat, J., Sanwal, P., y Saxena, J. (2016). Potassium and Its Role in Sustainable Agriculture. *Potassium Solubilizing Microorganisms for Sustainable Agriculture*, 235–253. [https://doi.org/10.1007/978-81-322-2776-2\\_17](https://doi.org/10.1007/978-81-322-2776-2_17)
- Reichardt, K., y Timm, L. C. (2019). How Plants Absorb Nutrients from the Soil. *Soil, Plant and Atmosphere*, 313–330. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-19322-5\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-030-19322-5_16)
- Rendón, J., y Bermúdez, L. (2017). Criterios para el establecimiento de cultivos de café en Colombia. <https://www.researchgate.net/publication/322273857>
- Rivera, C. (2018). Raíces saludables significan larga vida productiva para cacao, café y otros perennes leñosos. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA).

- Rodríguez, N., Vázquez, B., Restrepo, B., y Márquez, G.(2017). Characterization and typification of coffee production systems (*Coffea arabica* L.), Andes municipality. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 70 (3), 8327-8339. <http://dx.doi.org/10.15446/rfna.v70n3.66332>
- Rojas, Y., Lozano, H., y Carvajal, D.(20 15). Ventajas y desventajas de cultivos de *Coffea arabica* L. y *Theobroma cacao* L. bajo sistemas agroforestales. *Ingenierías & Amazonia*, 8 (1), 48-58.
- Romero, J., Camilo, J. (2019). Manual de producción sostenible de café en la República Dominicana. <http://www.iica.int>
- Roveda, G., y Polo, C. (2007). Mecanismos de adaptación de maíz asociado a *Glomus* spp. en suelos con bajo fósforo disponible. *Agronomía Colombiana*, 25 (2), 349-356. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/14140>
- Russo, R., Gordon J., y Berlyn, G. (1993). Evaluating Alder-Endophyte (*Alnus acuminata*-*Frankia*-Mycorrhizae) Interactions: Growth response of *Alnus acuminata* seedlings to inoculation with *Frankia* strain ArI3 and *Glomus* intra-radices, under three phosphorus levels. *Journal of Sustainable Forestry*, 1 (1), 93-110. <https://doi.org/10.1007/BF02232801>
- Sadeghian, S. (2008). Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia: Guía práctica. Boletín técnico N°32. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/587>
- Sánchez, F., y Aldana, M. (2010). *Licenciatura en Agroecología*. [Trabajo de grado, Universidad Autónoma de Yucatán].
- Sauvadet, M., Asare, R., y Isaac, M. (2020). Evolutionary distance explains shade tree selection in agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 304, 107125. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107125>

- Sauvadet, M., Den Meersche, K., Allinne, C., Gay, F., De Melo V., Chauvat, M., ... Harmand, J. (2018). Shade trees have higher impact on soil nutrient availability and food web in organic than conventional coffee agroforestry. *Science of The Total Environment*, 649 (1), 1065-1974. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.291>
- Sauvadet, M., Van den Meersche, K., Allinne, C., Gay, F., de Melo Virginio Filho, E., Chauvat, M., ... y Harmand, J. (2019). Shade trees have higher impact on soil nutrient availability and food web in organic than conventional coffee agroforestry. *Science of the Total Environment*, 649, 1065-1074. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.291>
- Schroth, G., y Do Socorro S. (2014). Agroforestry: Complex Multistrata Agriculture. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, 195–207. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-52512-3.00030-9>
- SIGTIERRAS, Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (2017). Memoria explicativa del Mapa de Órdenes de Suelos del Ecuador. Quito, Ecuador
- Silveira, J., Nasser, M., Mariano-Nasser, F., Pagliarini, M., y Giomo, G. (2018). Population density of Arabica coffee cultivars for bean quality and yield. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 48(4), 358-363. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632018v48i52589>
- Somarriba, E. (2002). Estimación visual de la sombra en cacaotales y cafetales. *Agroforestería en las Américas*, 9 (35-36), 86-94.
- Souza, A., Guimarães, R., Dominghetti, A., Scalco, M., y Colombo, A. (2014). Doses de fósforo no desenvolvimento inicial de cafeeiros em solos com diferentes texturas. *Coffee Science*, 9 (2), 284-288. <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/8045>

- Tariq, A., Pan, K., Olatunji, O., Graciano, C., Li, Z., Sun, F., y Zhang, A. (2018). Phosphorous fertilization alleviates drought effects on *Alnus cremastogyne* by regulating its antioxidant and osmotic potential. *Scientific reports*, 8 (1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24038-2>
- Tatagiba, S., Pezzopane, J., Reis, E. (2010). Crescimento vegetativo de mudas de café arábica (*Coffea arabica* L.) submetidas a diferentes níveis de sombreamento. *Coffee Science*, 5 (3), 251-261.
- Tituaña, M., y Nicolalde L. (2019). Aprovechamiento de plantaciones forestales en Imbabura, Ecuador. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 8 (2), 98-106. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7153080>
- Tulik, M., Grochowina, A., Jura, J., y Bijak, S. (2020). Groundwater Level Fluctuations Affect the Mortality of Black Alder (*Alnus glutinosa* Gaertn.). *Forests*, 11 (2), 134. <https://doi.org/10.3390/f11020134>
- Tyerman S., Wignes J., y Kaiser B. (2017) Root Hydraulic and Aquaporin Responses to N Availability. *Signaling and Communication in Plants*, 207-236. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-49395-4\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-49395-4_10)
- Vallejos, H., Añazco, M. ., Vizcaíno, M. ., Paredes, H. ., y Ruiz, J. (2020). Comportamiento de *Alnus nepalensis* D. Don en asocio con tres especies forestales *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F.Blaque, *Swietenia macrophylla* King, y *Cordia alliodora* Ruiz & Pav. bajo sistema agroforestal. *Ciencia Y Tecnología*, 13 (1), 49-56. <https://doi.org/10.18779/cyt.v13i1.347>

- Varela, Jácome, G. D. (2017). *Efectos alelopáticos de Alnus Nepalensis D. Don en cuatro cultivos agrícolas de importancia socioeconómica en la zona de Intag, noroccidente del Ecuador*. [Trabajo de grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio digital Universidad Técnica del Norte. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6875>
- Vargas, S., G. (2019). Biomecánica de los árboles: crecimiento, anatomía y morfología. *Madera y bosques*, 25 (3). <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531712>
- Vilela, (2014). *Crecimiento inicial de cultivares de cafeeiro com diferentes doses de nitrogênio, fósforo e potássio*. [Trabajo de Grado, Universidad Federal de Lavras]. SBI Café Biblioteca do Café. <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/6707>
- Villareyna, A. (2016). *Efecto de los árboles de sombra sobre el suelo, en sistemas agroforestales con café, incluyendo la fenología y fisiología de los cafetos*. : <https://www.researchgate.net/publication/312190528>
- Waldron, A., Garrity, D., Malhi, Y., Girardin, C., Miller, D., y Seddon, N. (2017). Agroforestry can enhance food security while meeting other sustainable development goals. *Tropical Conservation Science*, 10, 194008291772066. <https://doi.org/10.1177/1940082917720667>
- Willis, M. (2010). *Las cadenas de valor del café orgánico/comercio justo de Intag y su impacto en el desarrollo local*. [Tesis de maestría, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales sede Ecuador]. Repositorio digital FLACSO Ecuador. <http://hdl.handle.net/10469/3928>
- Yamberla, L. (2017). *Sostenibilidad del asocio de árboles con cultivos en el cantón Pimampiro, norte de Ecuador*. [Trabajo de grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio digital Universidad Técnica del Norte. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6419>

Zambolim, L. (2016). Current status and management of coffee leaf rust in Brazil. *Tropical Plant Pathology*, 41 (1), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s40858-016-0065-9>

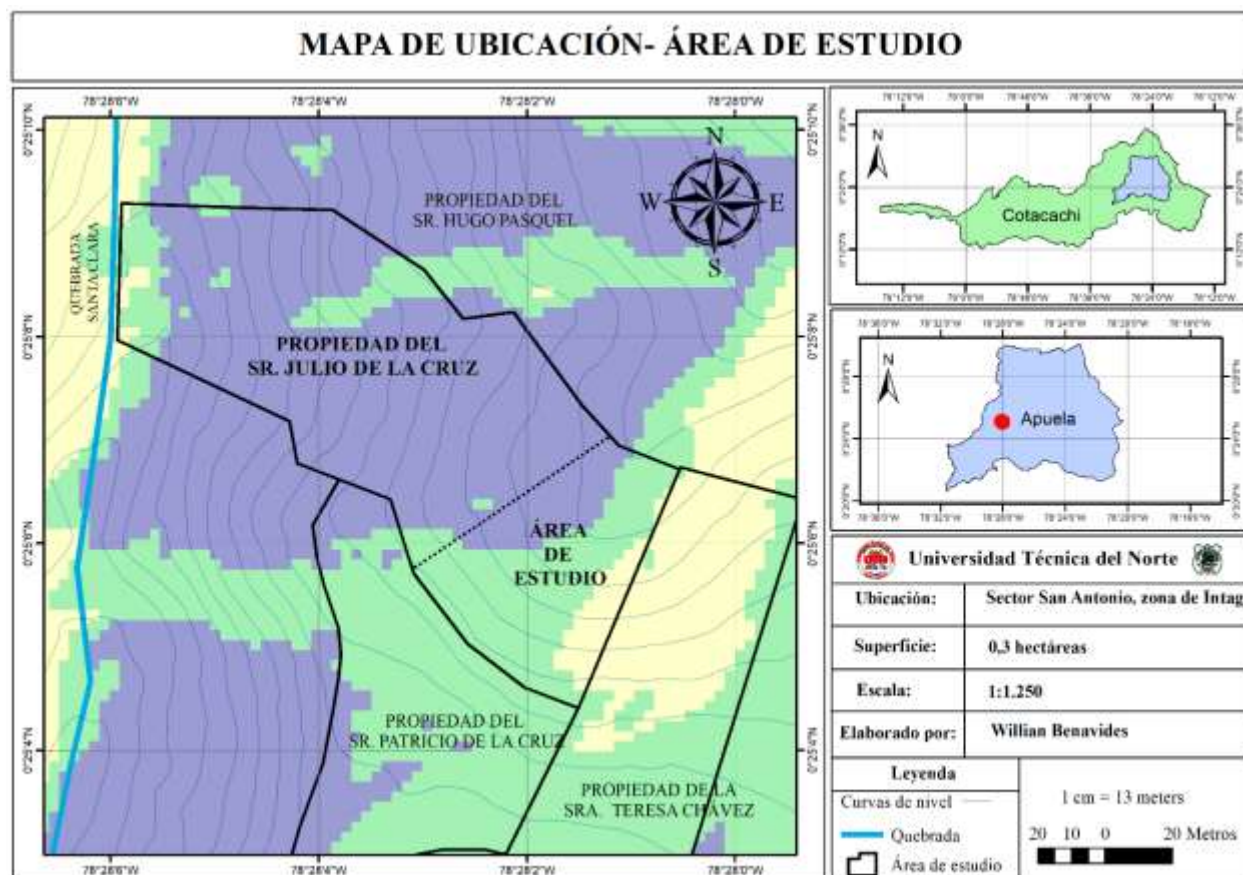
Zhang, Z., Cai, Z., Liu, G., Wang, H., Huang, L., y Cai, C. (2017). Effects of fertilization on the growth, photosynthesis, and biomass accumulation in juvenile plants of three coffee (*Coffea arabica* L.) cultivars. *Photosynthetica*, 55 (1), 134-143. <https://doi.org/10.1007/s11099-016-0237-3>

Zobel, B., y Talbert, J. (1988). *Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales*. 545.

## CAPÍTULO VII

### ANEXOS

#### Anexo 1. Mapa de ubicación del área de estudio



## Anexo 2. Análisis de suelo del área de estudio

**L A B O N O R T**

LABORATORIOS NORTE  
Av. Cristobal de Troya 4-93 y Jaime Roldos Ibarra - Ecuador cel. 0999591050

**REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS**

DATOS DE PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD	
Nombre: WILLIAM BENAVIDES		Provincia: Imbabura	
Ciudad:		Cantón: Cotacachi	
Teléfono: 0959422050		Parroquia: Apuela	
Fax:		Sitio: San Antonio	
DATOS DEL LOTE		DATOS DE LABORATORIO	
Sitio: San Antonio		Nro Reporte.: 9231	
Superficie:		Tipo de Análisis: Completo	
Número de Campo: Lote 1		Muestra: Suelo lote 1	
Cultivo Actual:		Fecha de Ingreso: 2020-01-06	
A Cultivar: Café		Fecha de Reporte: 2020-01-08	

Nutriente	Valor	Unidad	INTERPRETACION
<b>N</b>	56.28	ppm	
<b>P</b>	6.14	ppm	
<b>S</b>	19.0	ppm	
<b>K</b>	0.70	meq/100 ml	
<b>Ca</b>	10.44	meq/100 ml	
<b>Mg</b>	1.28	meq/100 ml	
<b>Zn</b>	2.86	ppm	
<b>Cu</b>	3.33	ppm	
<b>Fe</b>	366.2	ppm	
<b>Mn</b>	30.73	ppm	
<b>B</b>	0.35	ppm	
<b>pH</b>	5.67		
<b>Acidez Int. (Al+H)</b>		meq/100 ml	
<b>Al</b>		meq/100 ml	
<b>Na</b>		meq/100 ml	
<b>Ce</b>	0.350	mS/cm	
<b>MO</b>	16.27	%	

Ca	Mg	Ca+Mg	(meq/100ml)	%	ppm	(%)	Clase Textural	
Ng	K	K	Sum Bases	NTot	Cl	Arena	Limo	Arilla
0.16	1.83	16.74	12.42					

Dr. Quim. Edison M. Miño M.  
Responsable Laboratorio

**LABORATORIOS NORTE**  
**LABONORT**  
IBARRA - ECUADOR  
ANALISIS QUIMICOS SUELOS Y AGUAS

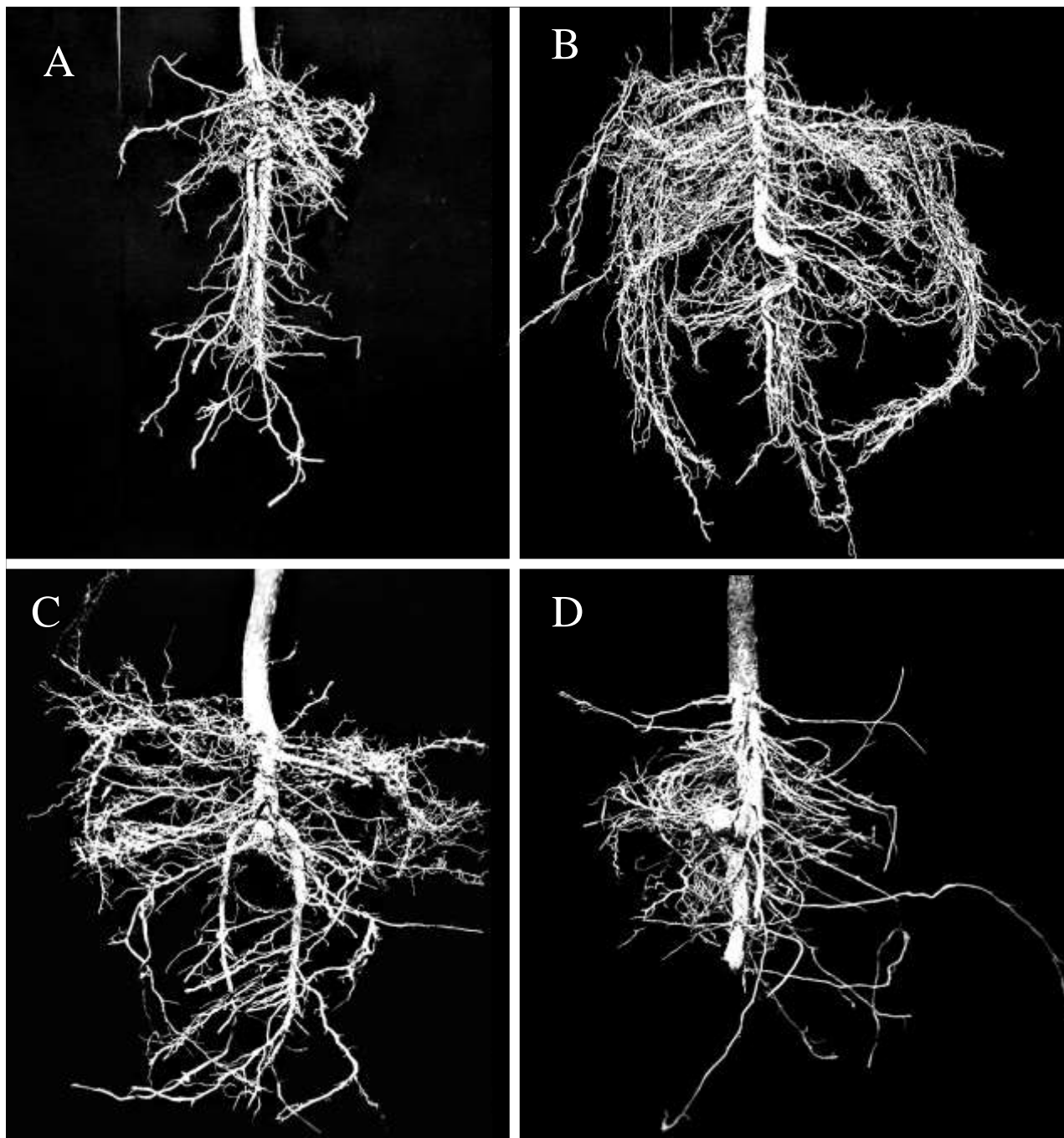


**Anexo 3.** Contenido nutricional del fertilizante orgánico; champiñonaza-23 kg

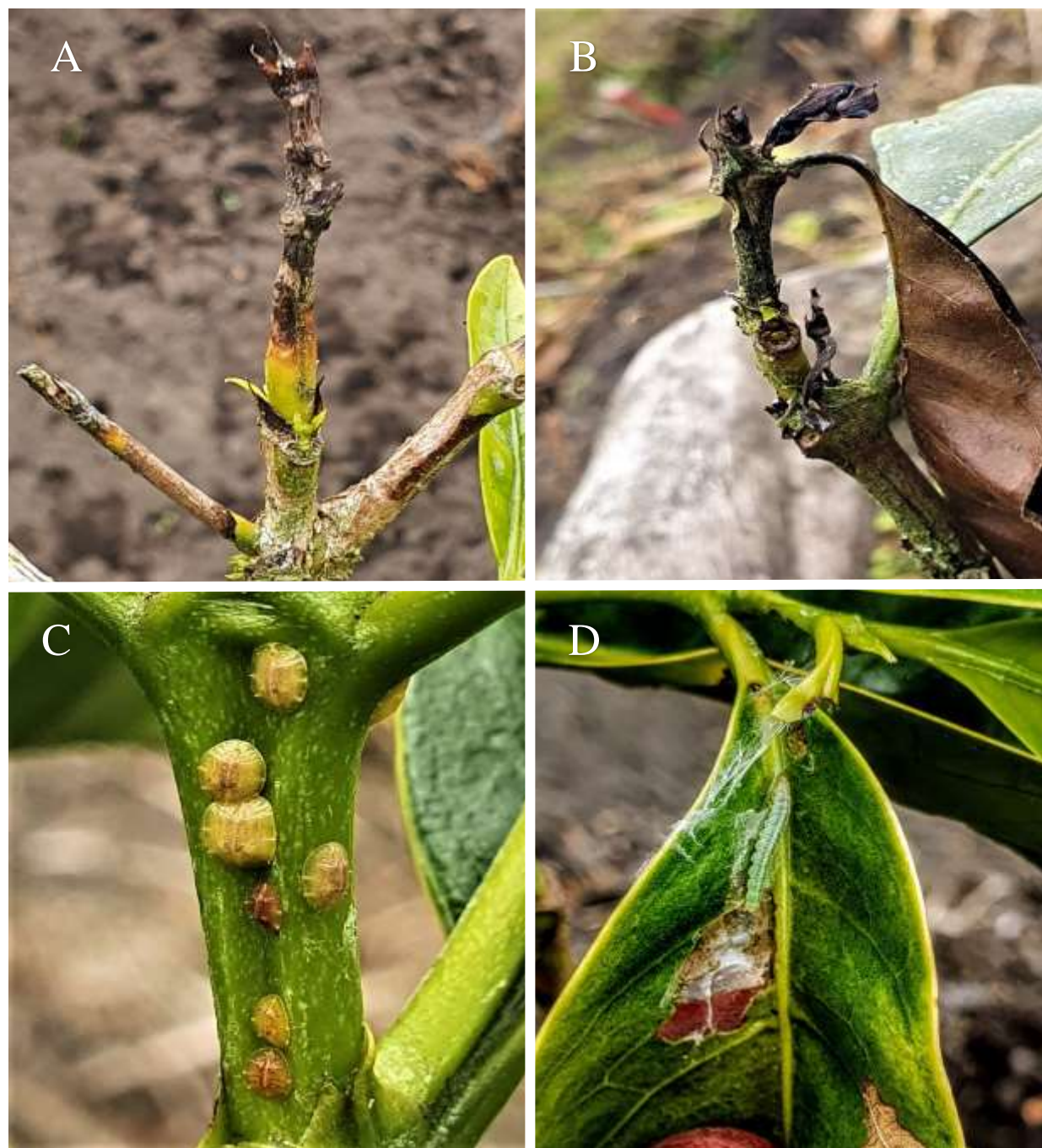
Composición	Valor	Unidad
Nitrógeno	1.95	%
Fósforo	1.18	%
Potasio	2.38	%
Calcio	5.34	%
Magnesio	0.65	%
Azufre	1.50	%
Manganeso	269.68	mg/kg
Zinc	265.71	mg/kg
Boro	20.00	mg/kg
Hierro	7493.06	mg/kg
Cobre	53.44	mg/kg
Materia orgánica	52%	%
Relación C/N	15.38	

**Anexo 4.** Contenido nutricional del fertilizante químico; roca fosfórica-50 kg

Contenido	Valor	Unidad
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	18-22	%
CaO	26-30	%
Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3.23	g/100g
Magnesio (MgO)	2.27	g/100g
Cobre (Cu)	55.00	mg/kg
Zinc (Z)	756.00	mg/kg

**Anexo 5.** Patrones de deformación encontrados en la raíz principal de cafetos muertos

*Nota.* Al cabo de doce meses de evaluación se extrajo el sistema radicular de 50 plantas muertas de *C. arabica* y se identificó cuatro patrones de deformación en la raíz principal, como se indica en la a figura A, B, C y D. Además, se destaca la desventaja de producir cafetos en bolsas de polietileno.

**Anexo 6.** Problemas fitosanitarios en las plantas de *C. arabica*

*Nota.* La muerte regresiva de ramas otro y plagio trópicas afectó significativamente el tejido apical del cafeto, como se muestra en la figura A y B. Al contrario de las escamas (*C. viridis*), figura C y minador de hoja (*L. coffella*), figura D, que no ocasionaron daños representativos.

**Anexo 7.** Datos de precipitación mensual en milímetros, recolectados desde 2012 en el sector San Antonio, parroquia de Apuela, zona de Intag.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2012	391	273	218	277	139	50	10	0	37	134	194	97
2013	193	283	170	182	282	20	22	28	33	136	121	169
2014	345	272	342	154	244	75	12	3	45	279	128	155
2015	189	164	292	143	92	46	50	6	1	134	132	54
2016	454	144	372	342	141	68	26	0	81	45	59	165
2017	236	237	484	154	249	203	6	40	16	128	65	284
2018	222	294	130	259	320	12	5	30	25	43	293	56
2019	279	197	193	293	103	54	12	4	93	118	290	398
2020	278	201	246	294	130	73	31	43	40	72	68	348
Promedio	2196	1792	2229	1821	1561	551	164	154	334	955	1156	1629

**Anexo 8.** Costos del establecimiento de un sistema agroforestal con *A. nepalensis*, *C. arabica* y *Musa* spp. en el sector San Antonio, Zona de Intag.

Concepto	Unidad	Cantidad	Valor unitario en USD	Valor total en USD
<b>Costos directos</b>				
1. Análisis de suelo				
a. Análisis en laboratorio	Unidad	1	45	45
Sub total				45
2. Mano de obra				
a. Preparación de terreno				
Rozar	Jornal	2	20	40
Trazar y balizar	Jornal	4	15	60
Hoyar	Jornal	18	15	270
b) Plantación				
Café	Jornal	10	15	150
Aliso	Jornal	2	15	30
Plátano	Jornal	3	15	45
c) Fertilización (aplicación)				
d) Control fitosanitario	Jornal	3	15	45
e) Manejo de arvenses	Jornal	4	15	60
Sub total				835
3. Insumos				
a) Material vegetativo				
Plantas de aliso	Unidad	100	0,25	25
Plantas de café	Unidad	3030	0,4	1212
Colinos de plátano	Unidad	280	0,5	140
b) Fertilizantes				
Kit de establecimiento	kit/ha	1	540	540
Sub total				1917
4. Equipos				
Despulpadora	Unidad	1	300	300
Sub total				300
Total, de costos directos				3097,00 USD
<b>Costos indirectos</b>				
a. Costos de administración				
Imprevistos	%	3	3.037	91,11
Seguro forestal	%	2	3.037	60,74
Total, de costos indirectos				151,85
<b>COSTO DE ESTABLECIMIENTO</b>				<b>3248,85 USD</b>

**Anexo 9.** Precio histórico de venta de café por libra en la zona de Intag

Año	Verde/oro * USD
2001-2002	1,19
2002-2003	1,19
2003-2004	1,25
2004-2005	
2005-2006	1,53
2006-2007	1,8
2007-2008	2,47
2009-2009	2,47
2009-2010	2,62
Promedio	1,815

Fuente: Willis (2010)