



**UNL**

Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Agronomía

**“Crecimiento y comportamiento fisiológico del café (*coffea arábica*) variedad castillo, con tres niveles de sombra, en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja”.**

Trabajo de titulación previa la obtención del  
título de Ingeniera Agrónoma.

**AUTORA:**

Valeria Alejandra Poma Macanchí.

**DIRECTOR:**

Ing. Max Enrique Encalada Córdova. PhD

**LOJA-ECUADOR**

**2022**

## Certificación

Ing. Max Enrique Encalada Córdova. PhD  
**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que luego de haber dirigido y revisado el trabajo de titulación titulado: “Crecimiento y comportamiento fisiológico del café (*Coffea arábica*) variedad castillo, con tres niveles de sombra, en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja”, de autoría de **Valeria Alejandra Poma Macanchí**, se establece que el trabajo ha sido **concluido**; por lo tanto, se autoriza su presentación para continuar con los trámites que correspondan, ya que además, el mismo se sujeta a las normas y reglamentos generales de graduación exigidos por la carrera de Ingeniería Agronómica.

En mi calidad de director de trabajo de titulación certifico que la investigación realizada ha sido trabajo propio de la señorita egresada Valeria Poma.

Loja, 14 de febrero del 2022



Firmado electrónicamente por:

**MAX ENRIQUE  
ENCALADA  
CORDOVA**

---

Ing. Max Enrique Encalada Córdova. PhD  
**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, **Valeria Alejandra Poma Macanchí**, declaro ser autora del presente trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi trabajo de titulación en el Repositorio Institucional- Biblioteca Virtual.

**Firma:**  Firmado electrónicamente por:  
**VALERIA  
ALEJANDRA POMA  
MACANCHI**

**Autora:** Valeria Alejandra Poma Macanchí

**Cedula de identidad:** 1150206959

**Fecha:** 07 de junio del 2022.

**Correo electrónico:** valeria.poma@unl.edu.ec

**Celular:** 0969865519

**Carta de autorización del Trabajo de Titulación por parte de la autora, para la consulta de producción parcial o total, y publicación electrónica del texto completo**

Yo, **Valeria Alejandra Poma Macanchí**, autora del trabajo de titulación: **Crecimiento y comportamiento fisiológico del café (*Coffea arabica*) variedad castillo, con tres niveles de sombra, en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja** autorizo al sistema bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre al mundo la producción intelectual de la universidad, a través de su visibilidad del contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional. Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo de investigación en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad Nacional de Loja. La Universidad Nacional de Loja no se responsabiliza por el plagio o copia del trabajo de titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los siete días del mes de junio del dos mil veintidós.

**Firma:**  Firmado electrónicamente por:  
**VALERIA  
ALEJANDRA POMA  
MACANCHI**

**Autora:** Valeria Alejandra Poma Macanchí.

**Cédula de Identidad:** 1150206975

**Correo electrónico:** valeria.poma@unl.edu.ec

**Celular:** 0969865519

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del trabajo de Titulación:** Dr. Max Enrique Encalada Córdova PhD.

**Tribunal de Grado:** Ing. Klever Anibal Chamba Caillagua (**PRESIDENTE**)

PhD. Marlene Lorena Molina Müller PhD (**VOCAL**)

PhD. Angel Rolando Robles Carrión (**VOCAL**)

## **Dedicatoria**

A mis padres Líder y Augusta quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no tener la adversidad porque Dios está conmigo siempre. A mis hermanas Tatiana y Stefany por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento. A mi familia en especial a mis abuelos que con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

*Valeria Alejandra Poma Macanchí*

## **Agradecimiento**

Me van a faltar paginas para agradecer a las personas que se han involucrado en la realización de este trabajo, sin embargo, merecen reconocimiento especial a mi Madre y padre, mis abuelos, mis hermanas y de manera especialmente a mi Tutor de Tesis Dr. Max Encalada que con su esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar mi carrera universitaria y me dieron el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.

A mis queridos docentes por impartir sus conocimientos durante toda la carrera.

*Valeria Alejandra Poma Macanchí*

## Índice de contenidos

Portada.....	i
Certificación .....	ii
Autoría.....	iii
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento .....	vi
Índice de contenidos .....	vii
Índice de tablas .....	ix
Índice de figuras .....	x
Índices anexos .....	xi
1. Título .....	1
2. Resumen .....	2
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción .....	4
4. Marco teórico .....	6
4.1. Origen y Distribución del Cultivo de Café .....	6
4.2. Descripción Botánica .....	6
4.3. Especies de Café .....	6
4.3.1. <i>Café Conilon</i> .....	7
4.4. Zonas de Producción de Café en Ecuador .....	7
4.5. Requerimientos Edafoclimáticos en el Cultivo de Café .....	7
4.5.1. <i>Intensidad de luz</i> .....	7
4.5.2. <i>Temperatura</i> .....	8
4.5.3. <i>Humedad relativa</i> .....	8
4.5.4. <i>Suelo</i> .....	9
4.5.5. <i>Precipitación</i> .....	9
4.5.6. <i>Viento</i> .....	10
4.6. Procesos Fisiológicos del Cultivo de Café .....	10
4.7. Crecimiento y Desarrollo del Café .....	10
4.8. Efecto de la Sombra en los Procesos Fisiológicos y Desarrollo Vegetativo del Cultivo de Café. ....	12
5. Metodología.....	13
5.1. Ubicación .....	13
5.2. Metodología General .....	13
5.2.1. <i>Diseño Experimental</i> .....	14

5.2.2.	<i>Modelo Matemático</i> .....	14
5.2.3.	<i>Análisis estadístico</i> .....	15
5.2.4.	<i>Metodología para el Primer Objetivo</i> .....	15
5.2.5.	<i>Metodología para el Segundo Objetivo</i> .....	17
6.	Resultados .....	19
6.1.	Altura de la Planta.....	19
6.2.	Diámetro del Tallo .....	19
6.3.	Número de Ramas.....	20
6.4.	Número Total de Hojas.....	21
6.5.	Nudos Por Rama .....	21
6.6.	Longitud de Entrenudos por Rama .....	22
6.7.	Superficie Foliar .....	23
6.8.	Masa Seca Total.....	23
6.9.	Masa Seca Aérea.....	24
6.10.	Masa Seca Radical .....	24
6.11.	Porcentaje de Masa Seca en Relación con la Masa Seca Aérea y Radical .....	25
6.12.	Razón de Área Foliar.....	25
6.13.	Área Foliar Específica (AFE).....	26
6.14.	Densidad Estomática .....	26
6.15.	Índice Estomático .....	26
6.16.	Largo de Estomas .....	27
6.17.	Ancho de Estomas .....	27
6.18.	Estado Hídrico.....	27
7.	Discusión.....	29
8.	Conclusiones .....	33
9.	Recomendaciones.....	34
10.	Bibliografía.....	35
11.	Anexos .....	39

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Identificación de cada tratamiento a través de códigos.....	14
<b>Tabla 2.</b> Superficie foliar de las plantas de café a los 320 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.....	23
<b>Tabla 3.</b> Masa seca total de las plantas de café a los 320 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.....	24
<b>Tabla 4.</b> Masa seca aérea de las plantas de café a los 320 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.....	24
<b>Tabla 5.</b> Masa seca radical de las plantas de café a los 320 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.....	24
<b>Tabla 6.</b> Razón aérea foliar de las plantas de café a los 320 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.....	25
<b>Tabla 7.</b> Área foliar específica de las plantas de café a los 320 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.....	26
<b>Tabla 8.</b> Densidad estomática de las plantas de café a los 320 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.....	26
<b>Tabla 9.</b> Índice estomático de las plantas de café a los 320 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.....	27
<b>Tabla 10.</b> Largo de estomas de las plantas de café a los 320 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.....	27
<b>Tabla 11.</b> Ancho de estomas de las plantas de café a los 320 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.....	27
<b>Tabla 12.</b> Estado hídrico de las plantas de café a los 320 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.....	28

## Índice de figuras

<b>Fig.1</b> Ubicación de la Estación Experimental Zapotepamba.....	13
<b>Figura 2.</b> Dinámica de la altura de las plantas de café expuestas a tres niveles de sombra, en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.....	19
<b>Figura 3.</b> Dinámica del diámetro de las plantas de café expuestas a tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.....	20
<b>Figura 4.</b> Número de ramas plagiotrópicas de las plantas de café expuestas a tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.....	20
<b>Figura 5.</b> Número total de hojas de las plantas de café expuestas a tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.....	21
<b>Figura 6.</b> Nudos por rama de las plantas de café expuestas a tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.....	22
<b>Figura 7.</b> Longitud de entrenudos por rama de las plantas de café expuestas a tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.....	23
<b>Figura 8.</b> Porcentaje de masa seca en relación con la masa seca aérea y radical de las plantas de café expuestas a tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.....	25

## Índices anexos

<b>Anexo 1.</b> Tablas de los análisis de varianza y test de Tukey de los diferentes indicadores...39 evaluados	
<b>Anexo 2.</b> Fotografías.....	41
<b>Anexo 3.</b> Oficio de aprobación del trabajo de titulación.....	44
<b>Anexo 4.</b> Designación de director del trabajo de titulación.....	45
<b>Anexo 5.</b> Certificado de traducción.....	46

## **1. Título**

**“Crecimiento y comportamiento fisiológico del café (*coffea arábica*) variedad castillo, con tres niveles de sombra, en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja”.**

## 2. Resumen

El café es muy emblemático a nivel mundial, el cual ha tomado mucho auge en los últimos años y, en Ecuador, constituye un ingreso elevado de divisas al país mediante las exportaciones. En el estudio, se evaluó el efecto de tres niveles de sombra en el crecimiento y comportamiento fisiológico del cultivo de café en la Estación Experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja, El ensayo se estableció un diseño en bloques completamente al azar (DCBA), los niveles de sombra que se evaluaron fueron, 35 %, 50 % y 65 %, con evaluaciones cada 20 días por seis meses. El efecto de la sombra sobre el desarrollo vegetativo y el potencial productivo del café, está influenciado por factores microclimáticos, fisiológicos y de crecimiento; se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, en las variables número de ramas, longitud de entrenudos y superficie foliar, siendo los mejores tratamientos aquellos con 65%, 50% respectivamente. Dentro del comportamiento fisiológico se determinó que la sombra es un factor determinante para la superficie foliar de las plantas de café los tratamientos con mayor porcentaje de sombra presentaron valores mayores con diferencias estadísticamente significativas, la densidad estomática, índice estomático, dimensiones de los estomas y estado hídrico, los mayores valores de estos indicadores fueron los tratamientos con menor radiación solar con diferencias estadísticamente significativas. En conclusión, se puede determinar que la sombra está relacionada directamente con el crecimiento y comportamiento fisiológico en el cultivo de café.

**Palabras claves:** Rubiaceae, intercepción de la radiación, morfología, fisiología.

## 2.1. Abstract

Coffee is very emblematic worldwide, which has boomed in recent years and, in Ecuador it constitutes a high income of foreign currency to the country through exports. In the study, the effect of three levels of shade on the growth and physiological behavior of the coffee crop at the Zapotepamba Experimental Station of the Universidad Nacional de Loja was evaluated. The sample was established in a completely randomized block design (DCBA), the levels of shade that were evaluated were 35%, 50% and 65%, with evaluations every 20 days for six months. The effect of the shade on the vegetative development and the productive potential of coffee is influenced by microclimatic, physiological and growth factors; statistically significant differences were observed between the treatments, in the variables number of branches, length of internodes and leaf surface, being the best treatments those with 65%, 50% respectively. Within the physiological behavior, it was determined that shade is a determining factor for the leaf surface of coffee plants. The treatments with the highest percentage of shade presented higher values with statistically significant differences, stomatal density, stomatal index, stomatal dimensions and water status, the highest values of these indicators were the treatments with less solar radiation with statistically significant differences. In conclusion, it can be determined that shade is directly related to growth and physiological behavior in coffee cultivation.

**Keywords:** Rubiaceae, radiation interception, morphology, physiology.

### 3. Introducción

El café es un cultivo muy emblemático a nivel mundial el cual ha tomado mucho auge en los últimos años y en Ecuador constituye un ingreso elevado de divisas al país mediante las exportaciones (6 468 t). En el ámbito laboral, genera empleo e ingresos a las familias y otros actores de la cadena productiva; beneficiando a cerca de 34 000 productores a nivel nacional. Durante los últimos quince años se ha ubicado entre los primeros ocho cultivos con mayor superficie cosechada y es producido en 21 provincias del país. Su relevancia se enmarca dentro de los órdenes económico, social y ambiental (Correa, 2014).

En Ecuador se existen cafetales de las especies arabiga y robusta, siendo arabiga la que se cultiva en gran porcentaje del territorio nacional, con una superficie aproximada de 213 175 ha, ubicadas en la región litoral, oriente y Galápagos, así como en las estribaciones occidentales y orientales de la cordillera de los Andes. Esta variedad presenta las mejores propiedades organolépticas (acidez, aroma, cuerpo y sabor) las cuales, son muy exigidas en los diferentes mercados (Gualotuña, 2016).

La provincia de Loja se destaca por la producción de café debido a la ubicación geográfica y a las condiciones edafoclimáticas, las cuales brindan condiciones óptimas para la producción de café de calidad; los principales cantones productores de café de la provincia son Puyango, Chaguarpamba, Olmedo, Quilanga, Espíndola y Paltas. Sin embargo, la baja productividad siempre ha sido un problema a enfrentar en la caficultura lojana, el rendimiento productivo en la provincia de Loja es de 120 kg ha<sup>-1</sup> inferior al de otras provincias más productivas como Zamora Chinchipe 280 kg ha<sup>-1</sup> (Duicela, 2016).

El cultivo de café, en su mayor superficie se siembra bajo la sombra de árboles, la cual permite el cambio climático, disminuye la temperatura del aire alrededor del cultivo, protege al suelo de la erosión y las lluvias intensas. Además, mediante un uso equilibrado, los árboles de sombrero pueden ayudar a salvaguardar la biodiversidad y ejercen una influencia positiva en la calidad y desarrollo del cultivo, por ende, una mejor producción (Jezeer y Verweij, 2015).

El café aprovecha aproximadamente el 1% de la luz solar incidente para el proceso fotosintético. Por otra parte, si la temperatura de la hoja sobrepasa los 34 °C, el nivel de asimilación será prácticamente cero; por ello, el coeficiente de fotosíntesis de las plantas bajo sombra es más alto que cuando están a plena exposición solar. Si la intensidad de la luz aumenta demasiado, hay

funciones que se vuelven negativas, las estomas se cierran, la fotosíntesis disminuye, la temperatura de las hojas aumenta considerablemente y el metabolismo se acelera hasta ser perjudicial (Solórzano y Querales, 2010).

El efecto de la sombra sobre el desarrollo vegetativo y el potencial productivo, está influenciado por factores microclimáticos, fisiológicos y de crecimiento: bajo condiciones naturales, la luz ambiental disponible para las plantas varía espacial y temporalmente en términos de calidad, cantidad y duración, por eso es indispensable la generación y validación de tecnologías apropiadas para el cultivo de café (Moreno., 2012).

Loja posee climas tropical, temperado y subtropical, con un relieve volcánico que forma cadenas intrincadas de montañas, cuya altitud disminuye progresivamente de oriente a occidente donde se cultiva café. La provincia presenta una altimetría desde los 120 a 3 880 metros sobre el nivel del mar, lo cual hace que las condiciones para el manejo de la sombra sean diferentes, dependiendo de la radiación solar, el nivel de nubosidad y humedad relativa(Alvarado, 2018).

Por todo lo antes mencionado se propuso el estudio del efecto de tres niveles de sombra en el crecimiento y comportamiento fisiológico del cultivo de café en la Estación Experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.

### **3.1. Objetivo General**

- Evaluar el efecto que produce la sombra en el crecimiento y parámetros fisiológicos del café (*Coffea arabica* L.) en las condiciones de la Estación Experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja

### **3.2. Objetivos Específicos**

- Describir el crecimiento del café expuesto a tres niveles de sombra en la Estación Experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.
- Analizar el comportamiento fisiológico del cultivo de café expuesto a tres niveles de sombra en la Estación Experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.

## **4. Marco teórico**

### **4.1. Origen y Distribución del Cultivo de Café**

El café *Coffea arabica* L. es originario de Etiopía, y su domesticación se atribuye al mundo árabe. La primera descripción de la planta de café fue hecha en 1592 por Prospero Alpini y, un siglo después, Antoine de Jussieu en 1713 la denominó *Jasminum arabicanum*. Fue Linneo en 1737 quien la clasificó en un nuevo género, *Coffea*, con una sola especie conocida: *C. arabica*. Sin embargo, sólo dos son responsables del 99 % del comercio mundial (Gil, 2016). Existen alrededor de 24 millones de hectáreas a nivel mundial, distribuidas de la siguiente manera: 41,8 % en Oceanía, 24,2 % en América Latina, 23,1 % en Europa, 5,9 % en Norte América, 3,7 % en Asia y 1,3 % en África. (Arcila, 2016).

### **4.2. Descripción Botánica**

El café pertenece a la familia de las rubiáceas (*Rubiaceae*), grupo que engloba unos 500 géneros y más de 6 000 especies, la mayoría árboles y arbustos tropicales. Dentro del género *Coffea* hay más de 100 especies, todas ellas autóctonas de África tropical y de algunas islas de Océano Índico, como Madagascar. Todas son leñosas, comprenden desde arbustos hasta árboles de 5 a 10 metros de altura. Sus hojas son elípticas, acabadas en punta y aparecen por pares. Presentan peciolo cortos y pequeñas estípulas, y en el envés pueden aparecer unas pequeñas cavidades que albergan pequeños artrópodos. Las hojas pueden ser también de distintos colores: verde lima, verde oscuro, bronce o con matices purpúreos. Los frutos son tipo drupa, con epicarpio carnoso y doble semilla. Las flores aparecen en inflorescencias (Rojo, 2014).

### **4.3. Especies de Café**

Entre las especies de café, el Arábigo (*Coffea arabica* L.) y Conilon (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) se destacan como los de mayor importancia económica. El arábigo representa alrededor del 63% del café comercializado en todo el mundo. La especie es autóctona de las tierras altas de Etiopía, antigua Abisinia, y actualmente se cultiva en América, África y Asia. Tiene una calidad superior a la de los demás, con marcado aroma y sabor dulce, y es ampliamente consumido en todo el mundo, puramente o en mezclas con otras especies de café (Partelli *et al.*, 2020).

### **4.3.1. Café Conilon**

Es autóctono de los bosques de tierras bajas de África ecuatorial, en la cuenca del río Congo, y actualmente se cultiva en algunos países de África central y occidental, el sureste de Asia y América del Sur. El café Conilon se usa comúnmente en la preparación de mezclas con la arabiga, componiendo hasta un 30% del producto final y, dado que tiene un mayor contenido de sólidos solubles y un mayor rendimiento después del proceso de tostado que el arabigo, es un componente esencial del café soluble. Las principales características de la mayoría de los genotipos de café Conilon son: tolerancia a altas temperaturas, eficiencia de absorción de agua del suelo, control estomático y reducción del área foliar para mantener la transpiración (Partelli *et al.*, 2020).

### **4.4.Zonas de Producción de Café en Ecuador**

Según la Asociación Nacional de Exportadores de Café (ANECAFE, 2019), se estima que en la región costa se concentra la mayor parte de terreno cultivado, se siembran aproximadamente 112 000 ha, en la sierra 62 000 ha en la región amazónica 55 000 ha y en las Galápagos 1 000 ha de cafetales. Esta amplia distribución se presenta porque el Ecuador es uno de los 14 países, entre cerca de 70, que tiene producción mixta, es decir, cultiva las especies comerciales arábica (*Coffea arabica*) y robusta (*Coffea canephora*).

En el Ecuador la producción de arábigo, considerado de mejor calidad se concentra específicamente en Manabí, en la provincia de Loja y en las estribaciones de la Cordillera Occidental de los Andes; en tanto que, el robusta se cultiva en la Amazonía, es decir, en Sucumbíos y Orellana, en su mayor porcentaje. El total de la producción en años, de condiciones climatológicas normales, es de aproximadamente 900 000 sacos de 60 kg, de los cuales el 43 % es café Robusta, el 25 % corresponde a Arábigo lavado y el 32% Arábigo natural (Alulima, 2012).

### **4.5.Requerimientos Edafoclimáticos en el Cultivo de Café**

#### **4.5.1. Intensidad de luz**

La radiación solar es el principal factor que determina el microclima del cultivo; su energía condiciona la temperatura del aire y del suelo, el movimiento del viento, la evapotranspiración y la fotosíntesis, de tal manera que la intensidad de la radiación, el grado de interceptación y la eficiencia en el uso de la energía radiante son determinantes en la tasa de crecimiento de las plantas. Para el proceso de la fotosíntesis, la planta usa un rango espectral de la radiación solar,

comprendido entre los 400 y 700 nm, denominada comúnmente radiación fotosintéticamente activa (RFA), la cual es aproximadamente el 50% de la radiación global (Trejo, 2018).

Por lo expuesto anteriormente el cultivo de café es bajo sombra, por lo tanto, es recomendable continuar con esta condición para la producción de alta calidad. Cuando la intensidad lumínica es alta se da el cierre de estomas en las hojas del café, para protegerse de una transpiración excesiva, esto trae como consecuencia una disminución en el proceso de fabricación de alimentos de la planta y consecuentemente una baja producción. Una intensidad de luz baja y prolongada favorece la incidencia de plagas, da problemas de maduración del grano y, por ende, de recolección. El café se considera una planta de día corto por lo que necesita de 8 a 13 horas de iluminación para florecer. La iluminación de un cafetal se puede modificar estableciendo y regulando distancias de siembra de la sombra permanente (Condori, 2019).

#### ***4.5.2. Temperatura***

La temperatura del aire corresponde a uno de los factores climáticos que influyen directamente sobre aspectos fenológicos y productivos del cultivo de café. La duración de los procesos fenológicos también se ve determinada por la temperatura, es decir, el tiempo transcurrido desde la siembra a la primera floración, a la primera cosecha, al máximo desarrollo foliar y la curva de desarrollo del fruto de café. Es así como, por ejemplo, a una temperatura de 14°C promedio, la primera cosecha de café se estima que se estaría presentando a los 1 438 días (48 meses) y el máximo desarrollo foliar a los 3 398 días (113 meses); a temperaturas promedio de 20 a 21°C, la primera cosecha de café se estima que se estaría presentando a los 523-575 días (entre 17 y 19 meses) y el máximo desarrollo foliar a los 1 236 -1 359 días (entre 41-45 meses). Esto significa que el ciclo productivo del cultivo de café, en zonas en donde predominan condiciones de baja temperatura es mayor que en zonas de altas temperaturas (Burbano, 2016).

#### ***4.5.3. Humedad relativa***

La humedad atmosférica es otro factor importante sobre el tejido vegetal del café, ya que la intensidad de la transpiración está en función de la humedad atmosférica y la iluminación. El café robusto se adapta mejor que el arábigo a altas humedades relativas, que son las condiciones regulares en el trópico húmedo (Acosta, 2017).

La humedad relativa media óptima para el café robusta es 80 – 90 %. En las zonas importantes de producción de café robusta de Ecuador, la humedad relativa media varía entre 83 y 88%, la humedad relativa mínima fluctúa de 53 a 73 % y la máxima de 98 a 99 %.(Abrego, 2012).

#### **4.5.4. Suelo**

En lo que respecta a los requerimientos del suelo para el cultivo del café es necesario que las condiciones sean las siguientes:

**Fertilidad:** Los suelos para el cultivo de café deben ser de fertilidad media a alta, debe ser profundo, un poco más de 1,5 m libre de impedimentos y con una densidad de 1,5 g/cm<sup>3</sup>, pero más importante es el equilibrio entre los elementos de magnesio/potasio, calcio/magnesio y calcio/potasio. También son importantes la textura del suelo y los tipos de minerales presentes, ya que influye directamente en la capacidad de fijación de fósforo.

**Materia Orgánica:** Los cafetales que se cultivan bajo sombra presentan cantidades de materia orgánica comparable con la de un bosque caducifolio. Estas cantidades favorecen el reciclaje de los nutrimentos, crecimiento de raíces y reducción de nemátodos en el suelo.

**pH:** Para el establecimiento de plantaciones de café son suelos ligeramente ácidos, con pH entre 5 y 6. Con suelos que poseen pH inferiores a 5 se puede cultivar adecuadamente el café, siempre y cuando la estructura sea buena. Se suele aplicar bases a los suelos ácidos, principalmente utilizando o mezclando con calcio (Pozo, 2014).

#### **4.5.5. Precipitación**

Los límites bajos para un buen desarrollo de café fluctúan entre 760 y 780 mm, mientras los límites altos varían de 990 a 3 000 mm, los mejores promedios de lluvia para los cafés arábigos fluctúan entre 1 200 y 1 800 mm año, bien distribuidos. El lugar ideal para cultivar café sería una zona donde haya algo más de 1 000 mm de lluvia durante ocho o nueve meses, luego una época seca con poca lluvia y que el período lluvioso inicie con precipitaciones fuertes o abundantes para favorecer la floración. Para asegurar el llenado de los frutos, las plantas requieren de agua de forma continua, después de la floración (Fernández, 2018).

#### **4.5.6. Viento**

Es factor limitante en el cultivo de café, particularmente el rango óptimo de velocidad del viento para el café es de 5 a 15 km/h; valores más altos provocan alta defoliación y caída de flores y frutos. Los vientos fuertes y frecuentes no son favorables para el desarrollo del café ya que su acción desecadora hace que se intensifique la transpiración. Esto causa una deshidratación en las hojas de la planta y su caída. Otro efecto causado por el viento en época de cosecha es, que el roce continuo entre las ramas laterales donde se produce el café causa el desprendimiento tanto de granos verdes como maduros ocasionando pérdida de frutos. De igual forma, los vientos fuertes parten las ramas especialmente cuando la producción es abundante (Orrala y Castillo, 2013).

#### **4.6. Procesos Fisiológicos del Cultivo de Café**

Los procesos fisiológicos de la planta constituyen la maquinaria por medio de la cual tanto el potencial genético como el ambiente interactúan para producir la cantidad y calidad de crecimiento y producción (Arcila, 2016).

Los factores ambientales pueden causar distintos cambios morfológicos, fisiológicos y bioquímicos en los cultivos, determinando una variación en su rendimiento, ya que la interacción entre estos factores y los procesos fisiológicos inciden en el mejoramiento de las prácticas de producción, al optimizar la fotosíntesis e incrementar la productividad de los cultivos. En este sentido, el sombreado es una estrategia útil para el cultivo de especies tolerantes a la sombra, en zonas de alta irradiancia. Cuando se reduce la irradiancia también se reduce la demanda evaporativa de las hojas del cultivo y del suelo, lo que incrementa el agua en la planta y la humedad del suelo (Encalada *et al.*, 2016).

#### **4.7. Crecimiento y Desarrollo del Café**

El crecimiento es un proceso que resulta de la interacción entre fotosíntesis, respiración, transporte de asimilados, relaciones hídricas y nutrición mineral; es el incremento irreversible en materia seca, volumen, longitud o área como resultado de la división, expansión y diferenciación celular. El desarrollo, es el conjunto de procesos que determinan el cambio de formas y aptitudes en un individuo. El crecimiento y desarrollo están determinados por factores genéticos y ambientales, dentro de los últimos se encuentran variables como la temperatura y la radiación solar, el primero, tiene efecto directo sobre la velocidad de las actividades enzimáticas y el segundo, sobre la actividad fotosintética (Gaitán *et al.*, 2013).

La fotosíntesis es el proceso fisiológico principal que impulsa el crecimiento de las plantas y la productividad de los cultivos e influye en muchos otros procesos de las plantas. También se ve muy afectado por las tensiones ambientales (Zapata, 2017).

Dentro del desarrollo del café se encuentran tres fases que son: fase de desarrollo vegetativo, fase reproductiva y fase de senescencia.

En los cultivos anuales se considera como fase vegetativa el tiempo transcurrido desde la germinación hasta la primera floración. En el caso de especies perennes y arbustivas como el café, la definición de la fase vegetativa es bastante compleja, debido a que el crecimiento vegetativo, por ejemplo, la formación de nudos y hojas y la generación de nuevas raíces, ocurre durante toda la vida de la planta y en la mayor parte del tiempo está intercalado con la fase reproductiva (Arcila, 2016).

De acuerdo a la forma como se desarrolla la planta de café, puede considerarse que el desarrollo vegetativo, es decir, la formación de raíces, ramas, nudos y hojas, comprende tres etapas: germinación a trasplante (2 meses), almácigo (5-6 meses) y siembra definitiva a primera floración (11 meses). Hasta este momento se considera una etapa netamente vegetativa y de ahí en adelante, las fases de crecimiento vegetativo y reproductivo transcurren simultáneamente durante el resto de vida de la planta. (Arcila, 2016).

Fase de desarrollo reproductivo del café. Comienza con la aparición de las primeras flores. El período de iniciación de esta fase puede estar influenciado por la duración del día (fotoperíodo), la época de siembra, la temperatura y la disponibilidad hídrica. Se considera como primera floración, el momento en que por lo menos el 50 % de las plantas hayan florecido. La fase reproductiva continúa luego con el desarrollo del fruto y la maduración. (Arcila, 2016).

Fase de senescencia del café. Es una planta perenne y se considera que alcanza su desarrollo y productividad máxima entre los 6 y 8 años de edad, a partir de los cuales la planta se deteriora paulatinamente y su productividad disminuye a niveles de poca rentabilidad. El ritmo de envejecimiento depende de la región donde se establece el cultivo, la densidad de siembra, la intensidad de la producción, la disponibilidad de nutrimentos, la presencia de plagas y enfermedades o del estrés ambiental, entre otros (Arcila, 2016).

#### **4.8.Efecto de la Sombra en los Procesos Fisiológicos y Desarrollo Vegetativo del Cultivo de Café.**

En América Latina, el café es uno de los cultivos más importantes en las zonas de piedemonte y montaña. Puede ser explotado, tanto en pequeñas unidades agrícolas como en grandes plantaciones. Su cultivo reviste interés ecológico cuando se cultiva bajo la sombra, motivo por el cual, se convierte en protector de los árboles que le sirven de sombra (Solórzano y Querales, 2010).

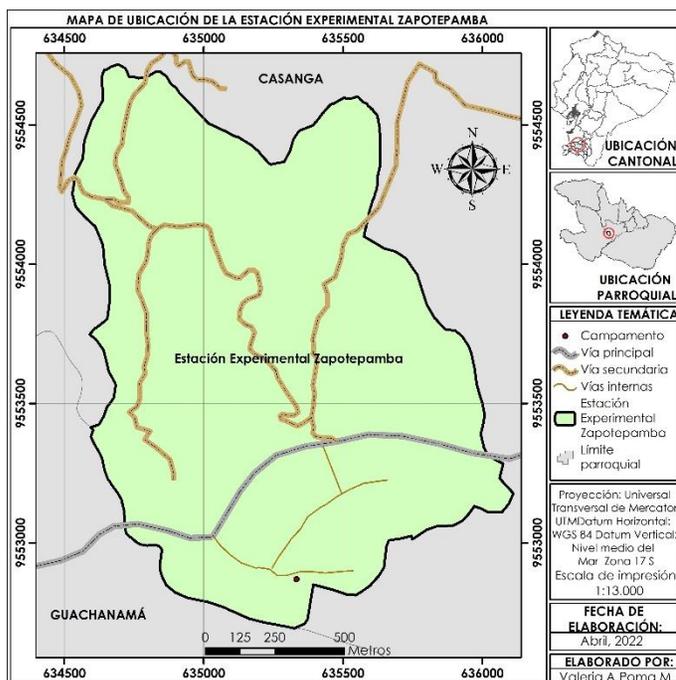
El café aprovecha aproximadamente uno por ciento de la luz solar incidente (ideal aprox. 1 500 horas/año) para el proceso fotosintético. Si la temperatura de la hoja sobrepasa los 34°C, el nivel de asimilación será prácticamente cero, por ello, el coeficiente de fotosíntesis de las plantas bajo sombra es más alto que cuando están a plena exposición solar. Por esta razón, la sombra en el café, favorece la maduración completa del grano (Solórzano y Querales, 2010).

Los cafetales convencionales a pleno sol, son exigidos a producir altos rendimientos en un determinado año, y por lo tanto el año siguiente es de esperarse que en este tipo de cafetales haya una reducción del rendimiento, muy marcada, lo que puede explicarse principalmente por el aumento de la iniciación floral. La sombra reduce casi en su totalidad el efecto tardío de la producción, lo cual está relacionado con menor carga fructífera de las plantas de café bajo sombra y un mayor equilibrio, fruto-área foliar-madera-raíz. El sombrío, al reducir la emisión de botones florales, regula las variaciones tardías de la producción, evitando superproducciones y disminuyendo el agotamiento de la planta. Lo anterior permite rendimientos de grano satisfactorios por mucho más tiempo. En términos económicos, mayor número de cosechas podría perfectamente compensar, dentro de ciertos límites, menores producciones medias por cosecha en aquellas regiones donde los cafetales a pleno sol producen más por cosecha que los cafetales arborizados (Villarreyna, 2016).

## 5. Metodología

### 5.1.Ubicación

La investigación se realizó en la Estación Experimental Zapotepamba, ubicada en el valle de Casanga, cantón Paltas, provincia de Loja (Figura 1). Geográficamente se ubica en las coordenadas, 79° 46' 27" de longitud Oeste y 04° 01' 01" latitud Sur, con una altitud de 900 m.s.n.m. (González, 2018).



**Fig.1** Ubicación de la Estación Experimental Zapotepamba

**Fuente:** (Poma, 2022)

### 5.2. Metodología General

Esta investigación se realizó en una parcela de 300 plantas de café variedad castillo de 180 días después del trasplante, de la cual se tomó el 15 % que representa 45 plantas de café de variedad castillo de 180 días después de trasplante.

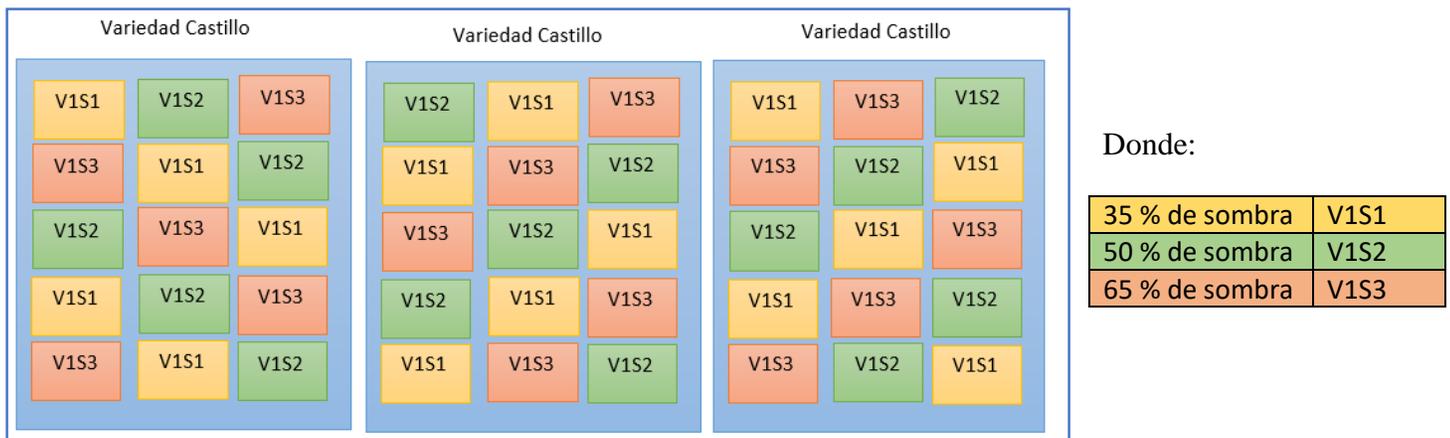
Se estableció un diseño en bloques completamente al azar (DCBA), conformado por 15 plantas, cada uno teniendo un total de 45 plantas en todo el estudio. Los niveles de sombra que se evaluaron fueron, 35 %, 50 % y 65 %. Estos niveles se lograron mediante malla de color negro, la misma que se colocó a una altura de 1,70 m y se realizó el cálculo de la sombra con la ayuda de los Luxómetros. De la misma forma se tomaron en cuenta la calidad del suelo en el que se desarrolla el cultivo.

Las evaluaciones se realizaron durante seis meses, cada 20 días para las diferentes variables de luz, altura de planta y diámetro del tallo; así mismo, cada 20 días se registró las variables número de ramas, número de hojas, número y longitud de entrenudos por rama, al final del estudio se midió la masa seca, estado hídrico, densidad e índice estomático.

### 5.2.1. Diseño Experimental

**Tabla 1.** Identificación de cada tratamiento a través de códigos

Código	Variedad	Sombra
V1S1	Variedad Castillo	Sombra 35 %
V1S2	Variedad Castillo	Sombra 50 %
V1S3	Variedad Castillo	Sombra 65 %



### 5.2.2. Modelo Matemático

Considerando que se usó un DBCA, se aplicó el siguiente modelo:

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

$Y_{ij}$  = Es la j-ésima observación del i-ésimo tratamiento

$\mu$  = media general de las observaciones

$\tau_i$  = efecto de los i-ésimo tratamiento

$\beta_j$  = efecto de los j-ésimo bloque

$\varepsilon_{ij}$  = es una varianza aleatoria normal independientemente distribuida con esperanza 0 y varianza  $\sigma^2$

### **5.2.3. Análisis estadístico**

Los datos registrados se tabularon en una base de datos de Microsoft Excel para su análisis mediante el programa estadístico Infostat. Los datos fueron ingresados en el programa, luego se realizó un análisis de varianza (ANAVA) y se utilizó el test de Tukey para la comparación de medias con un nivel de significancia del 5 %, para determinar si existen o no interacciones estadísticamente significativa en la altura de la planta, diámetro del tallo, número de ramas, número de hojas, nudos por rama y longitud de entrenudos, indicadores de crecimiento como área foliar , masa seca, razón de área foliar , área foliar específica, densidad, índice estomático, largo y ancho de estomas y estado hídrico.

### **5.2.4. Metodología para el Primer Objetivo**

**“Describir el crecimiento del café expuesto a tres niveles de sombra en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja”**

Se realizaron mediciones en 5 plantas de cada tratamiento tomadas aleatoriamente, se evaluaron cada 20 días las variables altura de la planta, diámetro del tallo, número de ramas, número de hojas, nudos por rama y longitud de entrenudos. Además, se midió directamente los indicadores de crecimiento como área foliar y masa seca a partir de estas últimas mediciones se calcularon indicadores indirectos como: razón de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE).

#### **5.2.4.1. Altura de la Planta.**

Se midió con la ayuda de un flexómetro desde el cuello hasta el ápice de la planta en cm.

#### **5.2.4.2. Diámetro del Tallo.**

Se midió con un calibrador digital a una altura de 3 cm desde la superficie del suelo en cm.

#### **5.2.4.3. Número de Ramas.**

Se determinó contando el número de ramas plagiotrópicas primarias y secundarias.

#### **5.2.4.4. Número Total de Hojas.**

Se conto el número total de hojas por planta de café variedad castillo.

#### **5.2.4.5. Nudos por Rama.**

Para determinar el total de nudos se contó el número de nudos por rama en cada planta.

#### **5.2.4.6. Longitud de Entrenudos.**

Se midió con un flexómetro la longitud de entrenudos de cada una de las ramas en cm.

#### **5.2.4.7. Superficie Foliar.**

Se determinó el área foliar a partir de las medidas lineales del largo y el ancho de las hojas, con la aplicación de la siguiente ecuación utilizada por Encalada *et al.*, 2016.

$$AF = 0.64 \times (L \times A) + 0.49$$

Donde:

**AF**= Área Foliar

**L**= Largo de las hojas

**A**= Ancho de las hojas

#### **5.2.4.8. Masa Seca.**

Al finalizar el periodo de la investigación se realizó el procedimiento para obtener la masa seca de las plantas de café, donde se tomó 5 plantas de cada tratamiento, en las cuales se procedió a separar la parte aérea y la parte radical, las mismas que se colocó en fundas de papel y se las hizo secar hasta lograr un peso constante en estufa a una temperatura de 55 °C. Una vez alcanzado el peso constante se procedió a determinar el porcentaje de masa seca radical y aérea y así mismo la masa seca total.

#### **5.2.4.9. Razón de Área Foliar (RAF).**

La relación del área foliar con el peso total de la planta, se expresó en cm<sup>2</sup>/g. Su cálculo se realizó con la fórmula (Di Benedetto y Tognetti, 2016):

RAF=área foliar/peso seco total de la planta.

#### **5.2.4.10. Área Foliar Específica (AFE).**

Significa la relación entre el área foliar y la masa seca foliar, se expresó en cm<sup>2</sup>/g. Su cálculo se realizó con la fórmula (Di Benedetto y Tognetti, 2016):

AFE= área foliar/peso seco del área foliar.

#### **5.2.5. Metodología para el Segundo Objetivo**

**“Analizar el comportamiento fisiológico del cultivo de café expuesto a tres niveles de sombra en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.”**

##### **5.2.5.1. Densidad, Índice Estomático, Largo y Ancho de Estomas.**

Las muestras se tomaron mediante la metodología de J.Manners (1989) la cual consiste en la aplicación de una capa de esmalte, diluido en acetona en proporción 1:1 en el envés de las hojas.

De cada aplicación se obtuvo una lámina grabada, en la cual se realizó las observaciones con microscopio Olympus BX41 con un aumento de 10X y mediante el uso del programa Anfinity Analyze, se midió y contó las estomas considerando una estoma cuando las dos células oclusivas estuvieron presentes. Para la densidad e índice estomático, se procedió a marcar cuadrantes de 100 um<sup>2</sup>, expresando así el número de estomas por mm<sup>2</sup>. De igual manera se realizó el índice estomático aplicando la ecuación (Ramirez, 2013):

$$\text{Índice Estomático} = \frac{\text{número de estomas}}{\text{número de células epidérmicas} + \text{número de estomas}} * 100$$

De igual forma se evaluó el largo y ancho de las estomas en micras (µm) mediante el uso del programa antes mencionado.

##### **5.2.5.2. Estado Hídrico.**

Se determinó según J. Azcón y M. Talón (2013) a través del contenido hídrico relativo de las hojas, para lo cual se procedió a cortar la muestra (hojas/tratamiento) desde la parte axial, las cuales se pesó determinando el Peso Fresco (Pf), se las colocaron en un vaso de 1 L con agua por 48 horas a temperatura de 5 a 8 °C, al finalizar el tiempo se pesó las hojas a plena turgencia obteniendo así el Peso Turgente (Pt), posteriormente se colocaron las hojas en la estufa a 55 °C por 24 horas obteniendo así el Peso Seco (Ps)

El estado hídrico se calculó con la aplicación de la siguiente ecuación (Argentel *et al.*,2006):

$$\text{CHR} = \frac{Pf-PS}{Pt-ps} \times 100$$

Donde:

**CHR:** Contenido relativo de agua

**Pf:** Peso fresco de la muestra

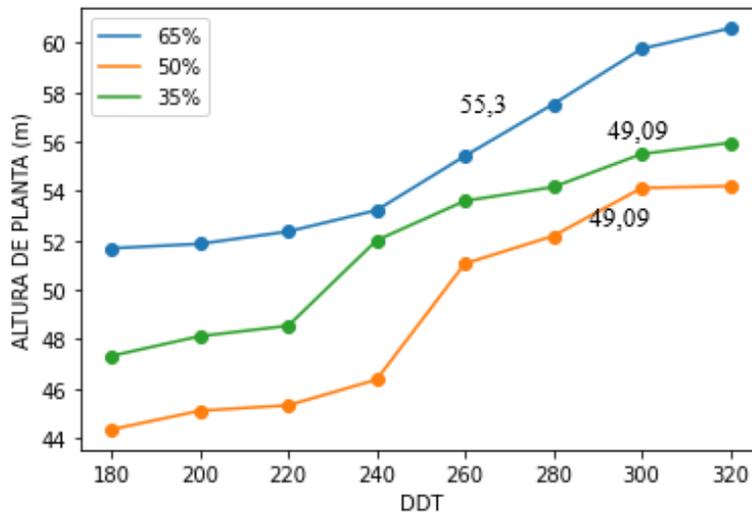
**Ps:** Peso seco de la muestra

**Pt:** Peso turgente

## 6. Resultados

### 6.1. Altura de la Planta

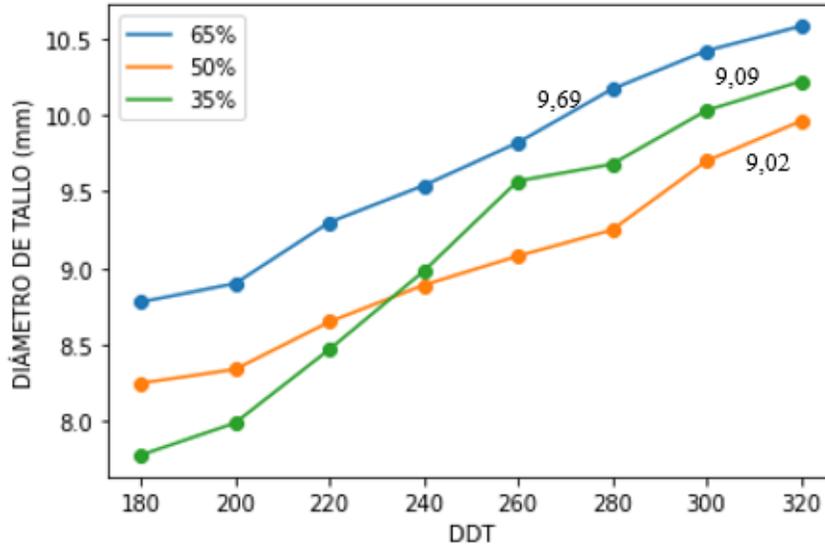
En la figura 2 se muestra la dinámica de la altura de las plantas de café a partir de los 180 Después de trasplante (DDT), presentando un crecimiento inicial en el sombreado de 35% de 37,3 cm y al final de la evaluación con un 69,6 cm en el 65% con valores mayores, encontrando una diferencia significativa entre los tres tratamientos, en este sentido se puede deducir que la sombra influyó para el crecimiento de la planta.



**Figura 2.** Dinámica de altura de las plantas de café en tres niveles de sombra, en la Estación Experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja (Zapotepamba - Paltas - Loja - Ecuador - noviembre 2021)

### 6.2. Diámetro del Tallo

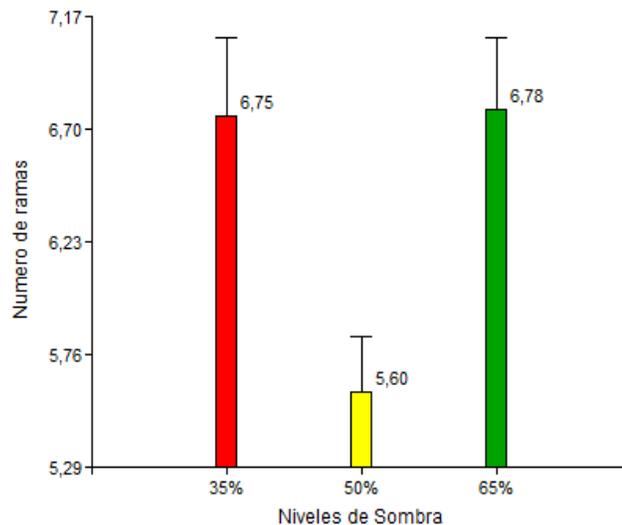
En la figura 3 se muestra el desarrollo del diámetro de las plantas de café a partir de los 180 DDT, presentando un desarrollo inicial de 6mm en el sombreado de 35%, y al final de la evaluación se registró 11,37mm en el 65 % con valores mayores, encontrando una diferencia significativa en los tres tratamientos, en este sentido se puede inferir que la sombra influyó para el desarrollo de la planta.



**Figura 3.** Dinámica del diámetro de las plantas de café en tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja (Zapotepamba - Paltas - Loja - Ecuador - noviembre 2021)

### 6.3. Número de Ramas

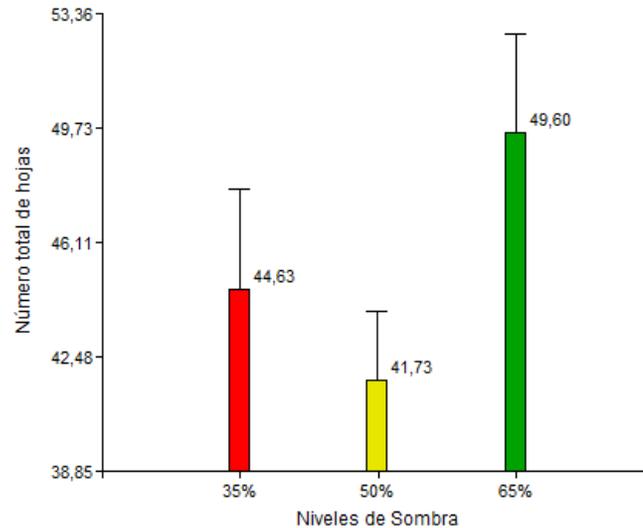
En lo que respecta al número de ramas por planta de café (figura 4), a partir de los 180 DDT se registró un crecimiento inicial de 3 ramas en el sombreado de 50% y 11 ramas al final de la evaluación en el 35% y 65% con valores mayores, ( $p:0,05$ ;  $p\leq 0,05$ ) encontrando una diferencia significativa respecto al otro tratamiento.



**Figura 4.** Número de ramas plagiotrópicas de las plantas de café en tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja (Zapotepamba - Paltas - Loja - Ecuador - noviembre 2021)

#### 6.4. Número Total de Hojas

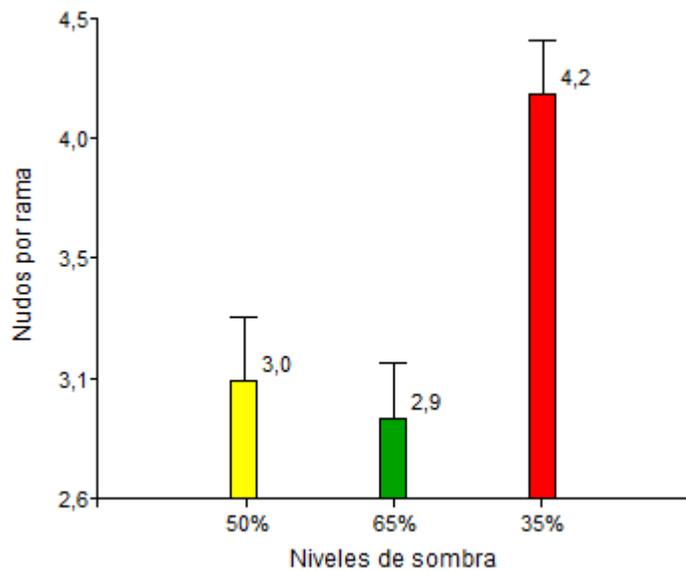
En la figura 5 se muestra el desarrollo de las hojas de las plantas de café a partir de los 180 DDT, presentando un progreso inicial de 19 hojas en el sombreado de 50%, y al final de la evaluación se registró 109 hojas en el 65 % con valores mayores ( $p:0,05$ ;  $p\leq 0.05$ ) encontrando una diferencia significativa entre los tres tratamientos, este sentido se puede decir que la sombra tiene influencia sobre el desarrollo de la planta.



**Figura 5.** Número total de hojas de las plantas de café en tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja (Zapotepamba - Paltas - Loja - Ecuador - noviembre 2021).

#### 6.5. Nudos Por Rama

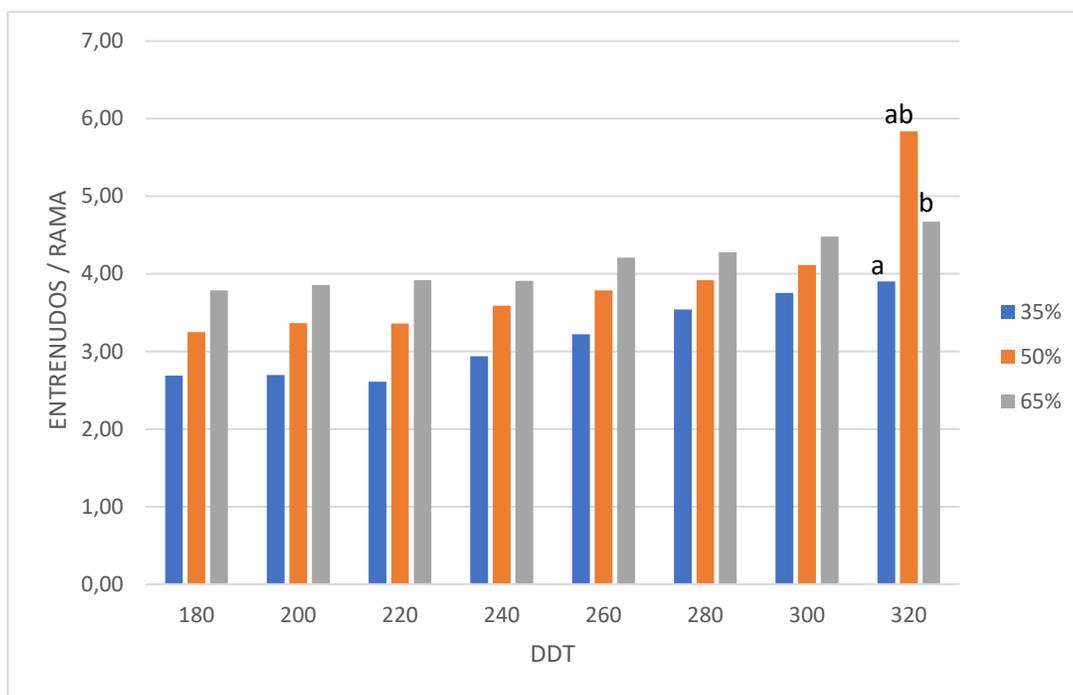
Como se observa en la figura 6, se muestra el crecimiento de nudos de las plantas de café a partir de los 180 DDT, registrando un crecimiento inicial de 1 nudo en el sombreado de 50% y al final de la evaluación con 6 nudos en el 35% con valores mayores, encontrando una diferencia significativa entre los tres tratamientos ( $p:0,0003$ ;  $p\leq 0.05$ ).



**Figura 6.** Nudos por rama de las plantas de café en tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja (Zapotepamba - Paltas - Loja - Ecuador - noviembre 2021)

### **6.6.Longitud de Entrenudos por Rama**

En lo que respecta a los entrenudos por rama (figura 7), a partir de los 180 DDT, presentando un incremento inicial de 0,5 cm de longitud entrenudos en el sombreado de 35 % y al final de la evaluación un 8,5 cm en el 65% con valores mayores, encontrando una diferencia significativa entre los tres tratamientos ( $p:0,0100$ ;  $p\leq 0.05$ ) a los 320 DDT.



**Figura 7.** Longitud de entrenudos por rama de las plantas de café en tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja (Zapotepamba - Paltas - Loja - Ecuador - noviembre 2021)

### 6.7. Superficie Foliar

El área foliar específica presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $p:0,0073$ ;  $p \leq 0.05$ ) a los 320 DDT. Las plantas con mayor AF fueron aquellas sometidas a los tratamientos de 50% y 65% de sombra (Tabla 2).

**Tabla 2.** Superficie foliar de las plantas de café a los 320 DDT, en tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.

Niveles de sombra	Media (cm <sup>2</sup> )	Error Estándar	Significancia
50 %	64,93	3,84	a
65 %	60,39	3,84	ab
35 %	47,5	3,84	b

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey  $p < 0,05$  (n=5)

### 6.8. Masa Seca Total

La masa seca total de las plantas de café a los 320 DDT (Tabla 3), presento un 34,2 g en el sombreado de 65% y 68,9 g en el de 35% con valores mayores, encontrando diferencias significativas. Sin embargo, dentro del análisis de la prueba de Tukey no existen diferencias significativas entre los tres tratamientos.

**Tabla 3.** Masa seca total de las plantas de café a los 320 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.

Niveles de sombra	Media	Error Estándar
35 %	56,17	4,79
50 %	40,73	4,79
65 %	36,5	4,79

### 6.9.Masa Seca Aérea

La masa seca aérea de las plantas de café a los 320 DDT (Tabla 4), presento un 29,6 g en el sombreado de 65 % y 55,2 g en el de 35% con valores mayores, encontrando diferencias significativas. Sin embargo, dentro del análisis de la prueba de Tukey no existen diferencias significativas entre los tres tratamientos.

**Tabla 4.** Masa seca aérea de las plantas de café a los 320 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.

Niveles de sombra	Media	Error Estándar
35 %	45,17	3,91
50 %	32,9	3,91
65 %	29,2	3,91

### 6.10. Masa Seca Radical

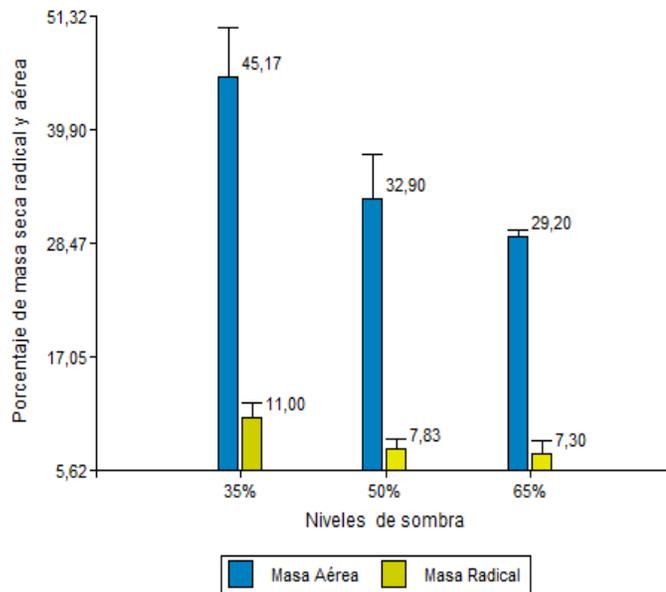
La masa seca radical de las plantas de café a los 320 DDT (Tabla 5), presento un 8,4g en el sombreado de 65 % y 13,7g en el de 35% con valores mayores, encontrando diferencias significativas. Sin embargo, dentro del análisis de la prueba de Tukey no existen diferencias significativas entre los tres tratamientos.

**Tabla 5.** Masa seca radical de las plantas de café a los 320 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.

Niveles de sombra	Media	Error Estándar
35%	11	1,27
50%	7,83	1,27
65%	7,3	1,27

### 6.11. Porcentaje de Masa Seca en Relación con la Masa Seca Aérea y Radical

En la Figura 8 se observa la acumulación de masa seca total con respecto a la masa seca radical y aérea, presentando porcentajes de masa seca 80% y masa seca radical de 20 % de aporte, en el sombreado de 35% con valores mayores, encontrando una diferencia significativa entre los tres tratamientos.



**Figura 8.** Porcentaje de masa seca en relación con la masa seca aérea y radical de las plantas de café expuestas a tres niveles de sombra, en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional (Zapotepamba - Paltas - Loja - Ecuador - noviembre 2021)

### 6.12. Razón de Área Foliar

La razón aérea foliar de las plantas de café a los 320 DDT (Tabla 5), se determinó un 0,93 cm<sup>2</sup>/g en el sombreado de 35% y 1,91cm<sup>2</sup>/g en el de 50% con valores mayores, registrando diferencias significativas entre los tres tratamientos. Sin embargo, dentro del análisis de la prueba de Tukey no existen diferencias significativas entre los tres tratamientos.

**Tabla 6.** Razón aérea foliar de las plantas de café a los 320 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.

Niveles de sombra	Media (cm)	Error Estándar
50 %	1,57	0,17
65 %	1,36	0,17
35 %	0,92	0,17

### 6.13. Área Foliar Específica (AFE)

El área foliar específica presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $p: 0,0161$ ;  $p \leq 0,05$ ) a los 320 DDT. Las plantas con mayor AFE fueron aquellas sometidas a los tratamientos de 50% y 65% de sombra (Tabla 7).

**Tabla 7.** Área foliar específica de las plantas de café a los 320 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.

Niveles de sombra	Media	Error Estándar	Significancia
50 %	147,91	8,16	a
65 %	126,41	8,16	ab
35 %	113,37	8,16	b

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey  $p < 0,05$  ( $n=5$ )

### 6.14. Densidad Estomática

La densidad estomática presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $p: 0,0002$ ;  $p \leq 0,05$ ) a los 320 DDT. Las plantas con mayor densidad estomática fueron aquellas sometidas a los tratamientos de 35% y 50% de sombra (Tabla 8).

**Tabla 8.** Densidad estomática de las plantas de café a los 320 DDT (Tabla 8), expuestas a tres niveles de sombra, en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.

Niveles de sombra	Media (mm <sup>2</sup> )	Error Estándar	Significancia
35 %	80,78	3,25	a
50 %	77,78	3,25	a
65 %	59,33	3,25	b

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey  $p < 0,05$  ( $n=5$ )

### 6.15. Índice Estomático

El análisis del índice estomático presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $p: < 0,0001$ ;  $p \leq 0,05$ ) a los 320 DDT. Las plantas con mayor densidad estomática fueron aquellas sometidas a los tratamientos de 35% y 50% de sombra (Tabla 9).

**Tabla 9.** Índice estomático de las plantas de café a los 320 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.

Niveles de sombra	Media (mm <sup>2</sup> )	Error Estándar	Significancia
65 %	37,31	0,64	a
35 %	35,5	0,64	a
50 %	29,16	0,64	b

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey  $p < 0,05$  (n=5)

### 6.16. Largo de Estomas

El largo de estomas de las plantas de café a los 320 DDT, registró 22,64  $\mu\text{m}$  en el sombreado de 65% y 42,39  $\mu\text{m}$  en el 50 % con valores mayores, encontrando diferencias significativas entre los tres tratamientos ( $p < 0,0001$ ;  $p \leq 0,05$ ).

**Tabla 10.** Largo de estomas de las plantas de café a los 320 DDT (Tabla 10), expuestas a tres niveles de sombra, en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.

Niveles de sombra	Media (mm <sup>2</sup> )	Error Estándar	Significancia
50 %	33,82	0,49	a
35 %	29,44	0,49	b
65 %	26,3	0,49	c

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey  $p < 0,05$  (n=5)

### 6.17. Ancho de Estomas

El ancho de estomas de las plantas de café a los 320 DDT, presentó 18,36  $\mu\text{m}$  en el sombreado de 65% y 35,4  $\mu\text{m}$  en el 50 % con valores mayores, encontrando diferencias significativas entre los tres tratamientos ( $p < 0,0001$ ;  $p \leq 0,05$ ).

**Tabla 11.** Ancho de estomas de las plantas de café a los 320 DDT (Tabla 11), expuestas a tres niveles de sombra, en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.

Niveles de sombra	Media (mm <sup>2</sup> )	Error Estándar	Significancia
50 %	28,16	0,48	a
35 %	25,12	0,48	b
65 %	22,5	0,48	c

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey  $p < 0,05$  (n=5)

### 6.18. Estado Hídrico

El estado hídrico medido de las plantas de café a los 320 DDT presento 19,2 en el sombreado de 50 y 94,9 % en el 65% con valores mayores, encontrando diferencias significativas entre los tres

tratamientos ( $p < 0,0409$ ;  $p \leq 0.05$ ). Es decir que a menor iluminación disminuyó la pérdida de agua por transpiración, favoreciendo la regulación del sistema suelo-planta-atmosfera.

**Tabla 12.** Estado hídrico de las plantas de café a los 320 DDT (Tabla 12), expuestas a tres niveles de sombra, en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja.

<b>Niveles de sombra</b>	<b>Media (cm)</b>	<b>Error Estándar</b>	<b>Significancia</b>
65 %	88,50	13,47	a
50 %	89,65	13,47	a
35 %	45,85	13,47	b

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey  $p < 0,05$  ( $n=5$ )

## 7. Discusión

La sombra en el cultivo de café de variedad castillo en la estación experimental Zapotepamba se mantuvo dentro de lo establecido por los tratamientos. (Encalada *et al.*, 2016), señala que el sombreado es una estrategia útil para el cultivo de especies tolerantes a la sombra, en zonas de alta irradiación, es decir, que al reducir la irradiación también se reduce la demanda evaporativa de las hojas del cultivo y del suelo, lo que permite incrementar el agua en la planta y la humedad del suelo, como se puede observar en este estudio que la sombra de 35 % tuvo menor contenido hídrico, disminuyendo así la pérdida de agua por transpiración, y de esta manera favorece la regulación del sistema suelo-planta-atmosfera.

Paredes *et al.*, 2020 El uso de mallas de sombreado es un método para mejorar el uso de la radiación solar y regular la temperatura, además de incrementar la productividad en los cultivos, en el estudio realizado se puede determinar que los niveles de sombra altos benefician al comportamiento fisiológico y crecimiento de la planta. Charbonnier *et al.* (2013), menciona que la regulación de la luz en un sistema agroforestal es provechosa para mejora la calidad del café, disminuye el estrés hídrico y aumenta la eficiencia de la luz debido a que ésta participa en la mayoría de los procesos fisiológicos de las plantas.

Según el estudio realizado por Chamba, (2018), Efecto de cuatro niveles de sombra en el desarrollo vegetativo del café en sistemas agroforestales, la dinámica de crecimiento de las plantas de café a partir de los 180 DDT, presentaron diferencias significativas en todo el periodo de evaluación en los tratamientos de 50 y 75 %, presentando mejores condiciones para su crecimiento. En la investigación realizada, la dinámica de la altura de las plantas de café a partir de los 180 después de trasplante (DDT), presentaron diferencias significativas en todo el periodo de evaluación en los tratamientos con mayor nivel de sombreado de 65 % en este sentido se puede inferir que la sombra influyó para el desarrollo de la planta.

Respecto al número de ramas Bote *et al.* (2018) mencionan que el número de ramas por planta y el número hojas por rama mostraron patrones cualitativamente similares con mayor radiación solar. Datos obtenidos por (Partelli *et al.*, 2020) mencionan que la longitud media de los entrenudos y ramas ortotrópicas aumentó en respuesta a mayores niveles de sombreado. Sin embargo, en el presente estudio el número de ramas, número de hojas y longitud de entrenudos presentó diferencias significativas en el tratamiento con menor iluminación. Araújo *et al.* (2016) menciona

que la sombra mínima induce a un aumento en la longitud del entrenudo. Nesper *et al.* (2017) también menciona que la cobertura del dosel aumenta la longitud de entrenudos y el crecimiento vegetativo.

En la investigación realizada los nudos por rama presentaron mayores valores con diferencias significativas en todo el periodo de evaluación en el tratamiento con mayor iluminación Villarreyna, (2016), menciona que el número de nudos productivos depende en gran parte de la fotosíntesis. Dependiendo de las condiciones climáticas, la fotosíntesis de cultivos sombreados puede ser ligeramente inferior a los cultivos al pleno sol lo que conduce a un número inferior de nudos fructíferos en condiciones sombreadas.

La superficie foliar de las plantas de café a los 320 DDT, los tratamientos con altos niveles de sombra presentaron valores mayores con diferencia significativa lo que nos permite inferir que son las mejores condiciones para el crecimiento de las plantas, En el estudio de Encalada, (2016) donde la superficie Foliar o Área Foliar, alcanzó los valores mayores en el nivel de luz del 20 %, con diferencias significativas *c*; las posturas crecidas a pleno sol presentaron los menores valores, con diferencias frente a los de iluminación restringida, produciéndose una respuesta en el crecimiento debida a la disponibilidad de radiación. Una mayor superficie foliar total implica mayor capacidad de interceptación de radiación solar y por ende una mayor productividad (Misgana *et al.*, 2018).

Silva, 2019 menciona que la mayor razón de área foliar y de área foliar específica, se presentó en niveles de sombra superiores a 45 %, donde el AFE varía con la intensidad lumínica o época del año. Especies con mayor cantidad de sombra, presentan una elevada área foliar específica que es muy similar a nuestro trabajo investigativo.

Al analizar la masa seca aérea se observó que los tratamientos de 0 % y 25 % presentaron los valores mayores la masa seca foliar desempeña un papel fundamental en los procesos de fotosíntesis Unigarro *et al.*, (2017). Sin embargo, en este estudio encontraron la acumulación de masa en relación con el crecimiento debido a que la producción de masa seca puede ser explicada a través de la cantidad de radiación interceptada y la eficiencia con la que dicha radiación es transformada en biomasa Reyes *et al.*, (2018) que es diferente al estudio realizado en Zapotepamba donde la masa seca total de las plantas de café a los 320 DDT, no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos.

Los tratamientos de 35% presentaron el mayor número estomas por mm<sup>2</sup> de superficie foliar, similar al estudio de Romero, (2019) quien señala que el número de estomas también varía significativamente entre hojas de sombra y de luz, siendo éstas últimas las que mayor número estomático presentaron. Una mayor incidencia de luz equivale a un incremento en la energía absorbida por unidad de área foliar, por lo que mayor incidencia lumínica representa una mayor necesidad de disipación de calor.

Se encontró mayor índice estomático a mayor sombra en las plantas de café, Carins *et al.* (2016) y Segev *et al.* (2015) mencionan que las plantas pueden equilibrar la transpiración a través del aumento de las células estomáticas en relación con las células epidérmicas, reflejando el equilibrio entre la transpiración y la asimilación de CO<sub>2</sub>, lo que resulta en una mayor eficiencia del uso del agua. Arve *et al.* (2013) mencionan que, a mayor porcentaje de sombra y humedad relativa, las estomas tienden a ser de menor tamaño debido a que las células epidérmicas son más grandes. En cuanto al ancho y largo de estomas los tratamientos de pleno sol y 75 % de sombra presentaron los valores mayores, lo cual representaría una mayor turgencia en las células oclusivas, siendo las encargadas de mantener el equilibrio en la planta regulando la fotosíntesis y transpiración (Jones, 2014; Suthar *et al.*, 2017). Datos similares a lo reportado por Brito *et al.* (2016) en donde se encontró cambios de turgencia en las células oclusivas obteniendo mayor expansión celular al incrementar los niveles de sombra en la lámina foliar. Estudios que difieren con nuestra investigación teniendo como resultado en el análisis del índice estomático diferencias significativas en el tratamiento de 50% indicando así una baja relación entre las células epidérmicas y el número de estomas.

Los mayores valores de este indicador a los 320 DDT fueron los tratamientos de 50% y 35% con diferencias significativas. Sin embargo, Rodríguez *et al.*, (2015) en cuanto a las dimensiones de las estomas, solamente el ancho de las células estomáticas mostró diferencias estadísticamente significativas a favor del café expuestos a mayor iluminación. Las variaciones observadas en dichas dimensiones en cada una de las condiciones de luz podrían en cada caso variar la absorción de la luz.

El estado hídrico medido a los 320 DDT en las plantas de café presento valores mayores en los tratamientos de sombra con menor iluminación, Tounekti *et al.* (2018) se menciona que a 50 % de sombra los cultivares de café fueron capaces de disminuir la aparición del estrés hídrico mediante

el control de la transpiración. La investigación realizada por Righi *et al.* (2008) demuestra que la eficiencia en el uso del agua en las plantas de café cultivadas a mayor sombra, la iluminación disminuye la pérdida de agua por transpiración, favoreciendo la regulación del sistema suelo-planta-atmosfera este estudio difiere con el de Dubberstein *et al.*,(2018), menciona que el déficit hídrico de las plantas genera el cierre de estomas y disminución del CO<sub>2</sub>, reduciendo la tasa de fotosíntesis, Además, Montagnini *et al.* (2015) indican que el efecto de la sombra sobre el balance hídrico de las plantas depende de las condiciones locales y temporales.

## **8. Conclusiones**

- Se concluye que los niveles sombra mejoran las condiciones de crecimiento y parámetros fisiológicos de la planta de café conjuntamente con las condiciones edafoclimáticas del sector Zapotepamba.
- Se concluye que en la investigación de campo realizada en la estación experimental Zapotepamba, la sombra es un factor que influye directamente en el crecimiento de la planta registrando diferencias estadísticamente significativas en los tratamientos de sombreo con menor radiación solar.
- Al analizar los niveles de sombra se concluye que a mayor porcentaje de sombreo existen mejores condiciones fisiológicas en las plantas de café, presentando diferencias estadísticamente significativas en los tratamientos evaluados.

## **9. Recomendaciones**

- A la carrera de agronomía se recomienda se incentive a los estudiantes para que continúen realizando este tipo de investigación.
- A la comunidad en general se recomienda implementar este tipo de sombras para mejorar la producción de sus cultivos.
- A los estudiantes de agronomía se recomienda profundicen el estudio del comportamiento fisiológico en los diferentes niveles de sombra.

## 10. Bibliografía

- Abrego, C. (2012). Producción Orgánica del Café Robusta; Agricultura y tecnologías relacionadas. Panamá, Panamá.
- Acosta, D. (2017). Adaptación de dos variedades de café robusta (*Coffea canephora*) con fuentes diferentes de fertilizantes en el primer año del cultivo [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador]. Quito, Ecuador.
- Alulima, M. V. (2012). Alternativas agroecológicas para el manejo del café (*coffea arabica*) [Tesis de grado, Universidad de Cuenca]. Cuenca, Ecuador.
- Alvarado, M. (2018). Territorialidades campesinas en Loja, Ecuador: análisis de sus dinámicas organizativas a partir de tres casos. *Revista de Desarrollo Económico Territorial*,1(2), 89-113
- Arcila, J., Farfán, V., Moreno B., Salazar G., y Hincapié G. (2016) Sistemas de producción de café en Colombia. Editorial Blanecolor Ltda. [https://www.cenicafe.org/es/publications/sistemas\\_de\\_produccion.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/sistemas_de_produccion.pdf)
- Arve, L., Terfa, M., Gislørød, H., Olsen, J. y Torre, S. (2013). High relative air humidity and continuous light reduce stomata functionality by affecting the ABA regulation in rose leaves. *Plant Cell Environmet*, 36(2), 382-392.
- Bote, A., Ayalew, B., Ocho, F., Anten, N., y Vos, J. (2018). Analysis of coffee (*Coffea arabica* L.) performance in relation to radiation levels and rates of nitrogen supply I. Vegetative growth, production and distribution of biomass and radiation use efficiency. *European Journal of Agronomy*,92 (1) ,115-122.
- Brito, A., Blanco, H., Escala, M., Vargas, E. y García, E. (2016). Morfoanatomía foliar de dos Ecotipos de Ananas Comosus (L.) Merr. Del Amazonas Venezolano:46 Amarilla y Yärä Känä. *Revista Acta Botanica Venezuelica*,39 (2), 158-179.
- Burbano, J. (2016). Evaluación del impacto de la variabilidad climática interanual y cambio climático en el cultivo de café en Colombia [Tesis de Maestría, Área de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile]. Santiago, Chile.

- Castillo, Á. (2013). Comportamiento agronómico en el segundo año de café robusta (*Coffea canephora* P.), en la parroquia Manglaralto, Cantón Santa Elena [Tesis de grado, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. La Libertad – Ecuador.
- Chamba, E. (2018). Efecto de cuatro niveles de sombra en el desarrollo vegetativo del cafeto (*Coffea arabica* L.) en sistemas agroforestales de la Hacienda Cristal del cantón Loja [Tesis de grado, Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja]. Loja, Ecuador.
- Charbonnier, F., Roupsard, O., Le Maire, G., Guillemot, J., Casanoves, F., Lacoite , A., Vaast , P., Allinne, C., Cambou , A., Clément, A., Defrenet, E., Duursma, R., Jarri, L., Jourdan, C., Khac, E., Leandro, P., Medlyn, B., Saint , L., Thaler , P., Van den Meersche, K., Barquero, A., Lehner, P. y Dreyer, E. (2017). Increased light-use efficiency sustains net primary productivity of shaded coffee plants in agroforestry system. *Plant, Cell Environment*, 40(8), 1592-1608.
- Condori, J. (2019). Evaluación del comportamiento agronómico de tres cultivares de café (*Coffea arabica* L.) en la Estación experimental de Sapecho – Palos Blancos. [Tesis de grado, Universidad mayor de San Andrés]. La Paz, Bolivia.
- Correa, G. (2014). Los fungicidas sistémicos en la prevención y control de la roya del cafeto (*hemileia vastatrix* berk. & br.), en el cantón las Lajas, Provincia de el Oro. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Machala]. El Oro, Ecuador.
- Duicela, L. (2016). Investigación y desarrollo cafetalero en el ecuador. Situación actual y perspectivas. VII Congreso Latinoamericano de Agronomía, Guayaquil. Ecuador.
- Encalada, M., Soto, F., Morales, D., y Álvarez, I. (2016) Influencia de la luz en algunas características fisiológicas del cafeto (*coffea arabica* L. CV. Caturra) en condiciones de vivero. *Revista Cultivos Tropicales*,37(4), 89-97.
- Fernández, Y. (2018). caracterización de la vegetación y el microclima en sistemas agroforestales café (*Coffea arabica* L.) en tres pisos altitudinales del Cantón Puyango en la Provincia de Loja [Tesis de grado, Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja]. Loja, Ecuador.

- Gaitán, Á., González, M., Núñez, C., Saldaña, T., & Cotes, J. M. (2013). Análisis Funcional de Crecimiento y Desarrollo de Cuatro Variedades de Papa (*Solanum tuberosum* subsp. andigena). *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 9(2), 172-185.
- Gil, A. (2016). Evaluación de tipos de contenedores sobre el crecimiento radical de café (*Coffea arabica* L. cv. Castillo) en etapa de vivero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(1), 125–136.
- Gualotuña, C. (2016). Adaptación de dos variedades de café robusta (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) con tres distancias de plantación Pedro Vicente Maldonado [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador]. Quito, Ecuador.
- Jezeer, R. E., y Verweij, P. A. (2015). *Café producido bajo árboles de sombrío: Dividendos dobles para la biodiversidad y productores en pequeña escala en el Perú*. Hivos, The Hague, Holanda
- Jones, H. (2014). *Plants and Microclimate a Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology Third Edition*. United Kingdom: Cambridge Cambridge University Press.
- Moreno., D. L. (2012) Efecto del estrés por sombra sobre la producción en plantas de limonero (*Limonium* sp. cv. Bluestream). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 1(2), 236-245.
- Partelli, F., Cavalcanti, A., Menegardo, C., y Covre, A. (2020). Spatial distribution of the root system of Conilon and Arabica coffee plants. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 55 (013), 3-7.
- Pozo, M. (2014). Análisis de los factores que inciden en la producción de café en el Ecuador 2000 – 2011 [Tesis de grado, Universidad Católica del Ecuador]. Quito, Ecuador.
- Reyes, D., Mercado, G., Escamilla, E. y Robledo, J. (2018). Innovaciones tecnológicas en la producción de planta de café (*Coffea arabica* L.). *Revista Agroproductividad*, 11(4),74-79.
- Righi, C., Pereira, A., Silveira, M., Rodrigues, C., Teramoto, E. y Favarin, J. (2008). Coffee water use in agroforestry system with rubber trees. *Revista Árvore*, 32(5), 781-792.
- Rodrigues, W., Martins, M., Fortunato, A., Rodrigues, A., Semedo, J., Simões, M., Pais, I., Leitão, A., Colwell, F., Goulao, L., Máguas, C., Maia , R., Partelli, F., Campostrini, E., Scotti, P.,

- Ribeiro, A., Lidon, F., DaMatta, Fábio., y Ramalho, J. (2015). Long-term elevated air [CO<sub>2</sub>] strengthens photosynthetic functioning and mitigates the impact of supra-optimal temperatures in tropical *Coffea arabica* and *C. canephora* species. *Global Change Biology*, 22(1), 415–431.
- Rojo, E. (2014). Café I (G. *Coffea*) Biología vegetal. *Revista Reduca*, 7(2), 32-89.
- Solórzano, N., y Querales, D. (2010). Crecimiento y desarrollo del café (*Coffea arabica*) bajo la sombra de cinco especies arbóreas. *Revista Forestal Latinoamericana*, 25(1), 61-80.
- Trejo, J. (2018). Opción climática para la producción de café en México. *Revista de Economía*, 37(2), 135-154.
- Villarreyna, R. (2016). Efecto de los árboles de sombra sobre el rendimiento de los cafetos, basado en perfiles de daño. CATIE: Serie Técnica. Informe Técnico No. 222 Turrialba, Costa Rica.
- Zapata, P. (2017). comportamiento ecofisiológico del cafeto (*coffea arabica* l.) cv. castillo en sistemas agroforestales de Tibacuy, Cundinamarca. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 0 (1), 61 – 70

## 11. Anexos

**Anexo 1.** Tablas de los análisis de varianza y test de Tukey de los diferentes indicadores evaluados.

**Tabla 1.** Altura de las plantas de café a los 200 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional.

Niveles de sombra	Media (cm)	Error Estándar	Significancia
65%	51,86	3,57	a
35%	48,12	3,57	a
50%	45,1	3,57	a

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey  $p < 0,05$  (n=5)

**Tabla 2.** Altura de las plantas de café a los 220 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional.

Niveles de sombra	Media (cm)	Error Estándar	Significancia
65%	53,22	3,6	a
35%	52	3,6	a
50%	46,36	3,6	a

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey  $p < 0,05$  (n=5)

**Tabla 3.** Altura de las plantas de café a los 240 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional.

Niveles de sombra	Media (cm)	Error Estándar	Significancia
65%	53,22	53,22	a
35%	52	52	a
50%	46,36	46,36	a

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey  $p < 0,05$  (n=5)

**Tabla 4.** Altura de las plantas de café a los 260 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional.

Niveles de sombra	Media (cm)	Error Estándar	Significancia
65%	55,42	4,14	a
35%	53,6	4,14	a
50%	51,06	4,14	a

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey  $p < 0,05$  (n=5)

**Tabla 5.** Altura de las plantas de café a los 280 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional.

Niveles de sombra	Media (cm)	Error Estándar	Significancia	Letras
65%	57,52	4,27	a	
35%	54,16	4,27	a	
50%	52,18	4,27	a	

distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey  $p < 0,05$  (n=5)

**Tabla 6.** Altura de las plantas de café a los 300 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional.

Niveles de sombra	Media (cm)	Error Estándar	Significancia
65%	59,76	4,34	a
35%	55,5	4,34	a
50%	54,12	4,34	a

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey  $p < 0,05$  (n=5)

**Tabla 7.** Diámetro del tallo de las plantas de café a los 200 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional.

Niveles de sombra	Media (cm)	Error Estándar	Significancia
65%	8,9	0,46	a
50%	8,35	0,46	a
35%	7,99	0,46	a

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey  $p < 0,05$  (n=5)

**Tabla 8.** Diámetro del tallo de las plantas de café a los 220 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional.

Niveles de sombra	Media (cm)	Error Estándar	Significancia
65%	930%	0,51	a
50%	865%	0,51	a
35%	847%	0,51	a

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey  $p < 0,05$  (n=5)

**Tabla 9.** Diámetro del tallo de las plantas de café a los 240 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional.

Niveles de sombra	Media (cm)	Error Estándar	Significancia
65%	9,54	0,53	a
35%	8,98	0,53	a
50%	8,9	0,53	a

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey  $p < 0,05$  (n=5)

**Tabla 10.** Diámetro del tallo de las plantas de café a los 260 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional.

Niveles de sombra	Media (cm)	Error Estándar	Significancia
65%	9,82	0,54	a
35%	9,58	0,54	a
50%	9,09	0,54	a

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey  $p < 0,05$  (n=5)

**Tabla 11.** Diámetro del tallo de las plantas de café a los 280 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional.

Niveles de sombra	Media (cm)	Error Estándar	Significancia
65%	10,18	0,48	a
35%	9,69	0,48	a
50%	9,26	0,48	a

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey  $p < 0,05$  (n=5)

**Tabla 12.** Diámetro del tallo de las plantas de café a los 280 DDT, expuestas a tres niveles de sombra, en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional.

Niveles de sombra	Media (cm)	Error Estándar	Significancia
65%	10,43	0,48	a
35%	10,04	0,48	a
50%	9,71	0,48	a

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey  $p < 0,05$  (n=5)

**Anexo 2.** Fotografías



Fig. 1 Identificación de los tratamientos



Fig. 2 Medición de la superficie foliar



Fig.3 Toma de números de ramas por planta



Fig. 4 Extracción de la lamina grabada



Fig.5 Extracción de plantas para masa seca



Fig.6 Secado de las muestras



Fig.7 Pesaje de masa radical



Fig.8 Pesaje de masa aérea



Fig.9 Obtención estado hídrico de las hojas de café

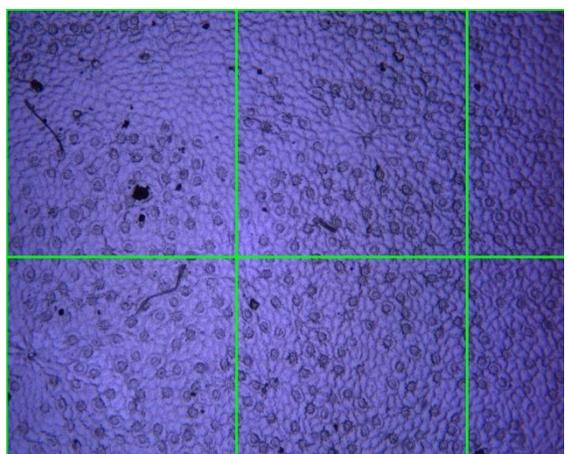


Fig. 10 Densidad de estomas

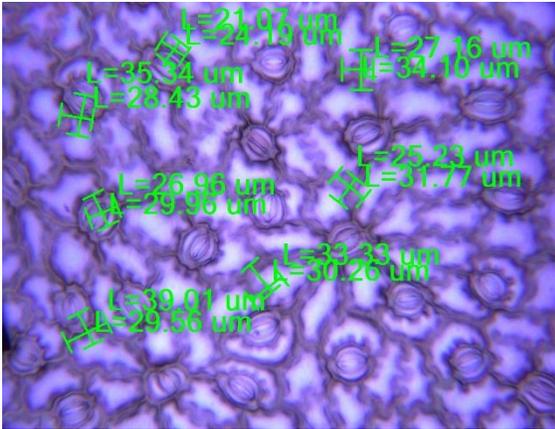


Fig.11 Largo y ancho de estomas



Fig.12 Socialización de los resultados obtenidos

Universidad Nacional de Loja  
Facultad agropecuaria y de recursos naturales renovables  
Carrera de agronomía |

N°	Apellidos y Nombres	Fechas	Firma
1	Auquilla Yangue Claudia Liliana	03/02/2022	
2	Camacho Carrión Wilson Fernando	03/02/2022	
3	Castillo Jaramillo Carmen Elizabeth	03/02/2022	
4	Celi Alulima Bryan German	03/02/2022	
5	Cevallos Cuenca Dayana Alexandra	03/02/2022	
6	Chuncho Paccha Maritza del Cisne	03/02/2022	
7	Fernández Cuenca Juan Pablo	03/02/2022	
8	García Granda Diana Marisol	03/02/2022	
9	Higuera Piedra María Isabel	03/02/2022	

Fig.13 Registro de socialización

Anexo 3. Oficio de aprobación del trabajo de titulación



**UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE LOJA**

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE  
RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
CARRERA DE AGRONOMÍA**



Loja, 07 de mayo del 2021

Ingeniero

Johnny Fernando Granja Trávez, Mg.Sc.

**GESTOR ACADÉMICO DE LA CARRERA DE AGRONOMÍA-UNL.**

Ciudadela Universitaria.

De mi consideración:

Expresándole un cordial saludo, me permito informar a usted que el proyecto de tesis denominado: **“Crecimiento y comportamiento fisiológico del café (*Coffea arabica*) variedad castillo con tres niveles de sombra en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja”**., de autoría de la señorita estudiante VALERIA ALEJANDRA POMA MACANCHÍ, ha realizado todas las correcciones sugeridas y señaladas en el escrito enviado a su autoridad. Por lo expuesto, certifico que el proyecto de tesis es coherente, pertinente y presenta relevancia técnica – científica, siendo así factible su ejecución.

Particular que informo a usted para los fines legales consiguientes.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:  
**KLEVER ANIBAL  
CHAMBA  
CAILLAGUA**

Ing. Klever A. Chamba Caillagua  
**DOCENTE**

#### Anexo 4. Designación de director del trabajo de titulación



FACULTAD AGROPECUARIA Y DE  
RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
**AGRONOMIA**

Of. No. 305-CIA-FARNR-UNL  
Loja, 26 de mayo del 2021

Estimado (a)  
PhD. Max Encalada Córdova  
**DOCENTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA-AGRONOMÍA**

De mi consideración:

Mediante solicitud de correo electrónico el Sr (Srta) **Valeria Alejandra Poma Macanchí**; estudiante de la carrera de Ingeniería Agronómica, solicita la designación del Director del proyecto de titulación denominado: "**Crecimiento y comportamiento fisiológico del café (Coffea arabica) variedad castillo con tres niveles de sombra en la estación experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja**". Al respecto y de conformidad a las atribuciones establecidas en el art. 49 del Estatuto Orgánico de la Universidad Nacional de Loja, y art. 136 del Reglamento de Régimen Académico institucional, procedo a designar a usted Director (a) del referido proyecto, para lo cual deberá observar lo establecido en el art. 139 del RRA-UNL-2009.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines consiguientes.

Atentamente,



Firmado digitalmente por:  
**JOHNNY FERNANDO  
GRANJA TRAVEZ**

Ing. Johnny Fernando Granja Trávez Mg. Sc.,  
**GESTOR DE LA CARRERA INGENIERÍA AGRONÓMICA**  
C. c Valeria Alejandra Poma Macanchí  
Anexo un ejemplar digital del proyecto  
JFGT/KEGQ

**Anexo 5.** Certificado de traducción

**CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN**

Loja, 06 de junio del 2022.

Lcda. Cinthya Jackeline Gaona Castillo

**DOCENTE DE INGLÉS EN LA UNIDAD EDUCATIVA “LICEO NAVAL DE QUITO”**

**CERTIFICO:**

Que la traducción del documento adjunto por la señorita de **Valeria Alejandra Poma Macanchí** con número de cédula **1150206959**, cuyo tema de investigación titulada: “Crecimiento y comportamiento fisiológico del café (*Coffea arabica* L.) variedad castillo, con tres niveles de sombra, en la Estación Experimental Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja”, ha sido realizada por la Lcda. Cinthya Gaona Castillo, docente de Ingles en la Unidad Educativa Liceo Naval de Quito.



Lcda. Cinthya Gaona Castillo

Cl.: 1150463980

**DOCENTE DE LA CATEDRA DE INGLÉS**