



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS  
NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

INFLUENCIA DE TRES NIVELES DE SOMBRA SOBRE  
PARÁMETROS MORFO – FISIOLÓGICOS EN LA  
ETAPA VEGETATIVA DE CACAO (*Theobroma cacao* L.)  
CLON CCN-51 EN LA PROVINCIA DE ZAMORA  
CHINCHIPE, SECTOR “EL PADMI”

TESIS DE GRADO PREVIA  
A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO  
AGRÓNOMO

**Autor**

José Alejandro Benítez Vivar

**Directora**

Dra. Marlene Molina Müller *PhD.*

LOJA – ECUADOR

2021



**UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE LOJA**

### **CERTIFICADO**

Dra. Marlene Lorena Molina Müller *PhD.*

**DIRECTORA DE TESIS**

#### **CERTIFICO:**

Que he recibido la tesis realizada por el señor egresado de la carrera de Ingeniería Agronómica, estudiante **José Alejandro Benitez Vivar**, autor de la tesis titulada: **INFLUENCIA DE TRES NIVELES DE SOMBRA SOBRE PARÁMETROS MORFO – FISIOLÓGICOS EN LA ETAPA VEGETATIVA DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) CLON CCN51 EN LA PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE, SECTOR “EL PADMI”**. El mismo que es parte de los requisitos exigidos por la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad nacional de Loja, por lo que autorizo su presentación a las instancias correspondientes.

Loja, 02 de julio de 2021



Validado electrónicamente por:  
**MARLENE LORENA  
MOLINA MULLER**

Dra. Marlene Lorena Molina Müller *PhD.*

**DIRECTORA DE TESIS.**

## AUTORÍA

Yo, José Alejandro Benítez Vivar declaro ser autor del presente trabajo de tesis 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 tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

**Firma:**  Firmado digitalmente por:  
JOSE  
ALEJANDRO  
BENITEZ VIVAR

**Autor:** José Alejandro Benítez Vivar.

**Cédula:** 110590169

**Fecha:** 26 de agosto de 2021

## CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, José Alejandro Benítez Vivar, declaro ser autor de la tesis titulada “Influencia de tres niveles de sombra sobre parámetros morfo – fisiológicos en la etapa vegetativa de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN-51 en la provincia de Zamora Chinchipe, sector “El Padmi”, como requisito para optar al grado de Ingeniero Agrónomo, 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 la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veinticinco días del mes de agosto del dos mil veintiuno, firma el autor:

**Firma:**  Escanea el código QR para:  
JOSE  
ALEJANDRO  
BENITEZ VIVAR

**Autor:** José Alejandro Benítez Vivar.

**Número de Cédula:** 110590169

**Dirección:** Av. Eugenio Espejo (437-53) y Aztecas, Barrio Miraflores Alto. Loja, Ecuador.

**Correo electrónico:** jose.a.benitez.v-98@hotmail.com

**Celular:** 0960051547

### DATOS COMPLEMENTARIOS

**Director de tesis:** Dra. Marlene Lorena Molina Müller PhD.

**Tribunal de grado:**

Mg. Sc. Paulina Vanesa Fernández Guarnizo

PhD. María Natalia Morales Palacio

PhD. Alex Eduardo Salazar González

**Presidente**

**Vocal**

**Vocal**

## **DEDICATORIA**

*A mi familia, por su apoyo y motivación.  
El éxito que alcance es también de ustedes.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios.*

*A mis padres, Sandra y Manuel por su apoyo, consejos y amor.*

*A mis hermanas, Lita y Gianella por su motivación y apoyo.*

*A la Dra. Marlene Lorena Molina Müller PhD. Por la guía brindada durante el desarrollo de este trabajo.*

*A mis amigos, Galo y Edwin, por el soporte que solo un amigo brinda.*

*A todos, los quiero.*

*José Benítez.*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS .....	ii
AUTORÍA.....	iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
1. TÍTULO .....	1
2. RESUMEN.....	2
<u>ABSTRACT</u> .....	3
3. INTRODUCCIÓN .....	4
Objetivo general .....	5
Objetivos específicos.....	5
4. REVISIÓN DE LITERATURA .....	6
4.1 Cacao ( <i>Theobroma cacao</i> L.) .....	6
4.2 Morfología y fisiología del cacao .....	6
4.2.1 Morfología.....	6
4.2.2 Fisiología.....	8
4.3 Grupos genéticos .....	9
4.3.1 Criollo .....	9
4.3.2 Forastero.....	9
4.3.3 Trinitario .....	10
4.3.4 Cacao nacional de Ecuador.....	10
4.3.5 Clones.....	10
4.4 Factores de clima y suelo.....	11
4.4.1 Altitud .....	11
4.4.2 Temperatura .....	12
4.4.3 Precipitación.....	12
4.4.4 Suelo.....	12
4.4.5 Humedad relativa.....	12
4.4.6 Luminosidad.....	12
4.5 Sombreo en el cultivo de cacao .....	13
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
5.1 Área de estudio.....	14
5.2 Material vegetal.....	14

5.3 Análisis de suelo.....	15
5.4 Manejo del experimento .....	15
5.5 Diseño experimental.....	16
5.5.1 Modelo matemático del diseño experimental.....	16
5.5.2 Esquema del diseño experimental.....	17
5.6 Variables evaluadas .....	17
5.6.1 Altura de la planta .....	17
5.6.2 Longitud del brote .....	17
5.6.3 Área de sección transversal del tronco (ASTT) .....	18
5.6.4 Longitud y número de metámeros .....	18
5.6.5 Área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF).....	18
5.6.6 Densidad estomática (DE) .....	18
5.6.7 Concentración de clorofila.....	19
5.6.8 Análisis de tejidos.....	19
5.6.9 Determinación de pH y conductividad eléctrica (CE) del suelo.....	20
5.7 Análisis estadístico .....	20
6. RESULTADOS .....	21
6.1 Variables morfológicas.....	21
6.1.1 Altura de planta .....	21
6.1.2 Área de sección transversal de tronco (ASTT) .....	22
6.1.3 Longitud de brote .....	24
6.1.4 Longitud y número de metámeros .....	25
6.1.5 Tasa de crecimiento .....	25
6.1.6 Área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF).....	26
6.2 Variables fisiológicas .....	28
6.2.1 Concentración de clorofila.....	28
6.2.2 Densidad estomática .....	29
6.2.3 Análisis de tejidos.....	30
6.2.4 Análisis de pH y conductividad eléctrica (CE) del suelo .....	30
6.3 Correlaciones.....	31
7. DISCUSIÓN .....	33
8. CONCLUSIONES .....	40
9. RECOMENDACIONES .....	41
10. BIBLIOGRAFÍA.....	42
11. ANEXOS .....	48



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio .....	14
Figura 2. Déficit de elementos.....	15
Figura 3. Esquema del diseño.....	17
Figura 4. Dinámica de crecimiento.....	21
Figura 5. Incremento de altura.....	21
Figura 6. Área de sección transversal del tronco del porta injerto .....	22
Figura 7. Área de sección transversal del tronco de la bareta .....	23
Figura 8. Incremento en el ASTT .....	23
Figura 9. Dinámica de crecimiento del brote.....	24
Figura 10. Incremento de la longitud del brote.....	24
Figura 11. Tasa de crecimiento absoluta .....	26
Figura 12. Ecuación del AF ajustada al largo de la hoja.....	26
Figura 13. Área foliar .....	27
Figura 14. Índice de área foliar.....	28
Figura 15. Concentración de clorofila .....	29
Figura 16. Estomas en el envés de la hoja .....	29
Figura 17. Concentración en porcentaje de elementos en los tejidos.....	30
Figura 18. pH del suelo .....	31
Figura 19. Conductividad eléctrica del suelo.....	31
Figura 20. Área foliar descrita por la relación entre el largo y ancho de las hojas.....	49
Figura 21. Ecuación ajustada con el ancho de la hoja para determinar el AF .....	49
Figura 22. Planta de cacao clon CCN-51.....	50
Figura 23. Establecimiento de tratamientos.....	50
Figura 24. Toma de datos en campo.....	51
Figura 25. Colecta de muestras para análisis en laboratorios.....	51

## ÍDICE DE TABLAS

Tabla 1. Promedio de altura.....	22
Tabla 2. Promedio de longitud de los brotes.....	25
Tabla 3. Longitud y número de metámeros .....	25
Tabla 4. Longitud y número de hojas, área foliar e índice de área foliar .....	27
Tabla 5. Concentración de clorofila.....	28
Tabla 6. Densidad de estomas .....	29
Tabla 7. Correlaciones entre variables morfológicas y fisiológicas. ....	32
Tabla 8. Tasas de crecimiento relativo de la altura .....	49
Tabla 9. Tasas de crecimiento relativo de la longitud del brote.....	50

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis de suelo previo al establecimiento de los tratamientos .....	48
Anexo 2. Ecuaciones ajustadas de largo y ancho para AF de cacao clon CCN-51 .....	49
Anexo 3. Tablas complementarias de resultados – tasas de crecimiento relativas y absolutas .....	49
Anexo 4. Fotografía del experimento en campo .....	50

**INFLUENCIA DE TRES NIVELES DE SOMBRA SOBRE PARÁMETROS MORFO –  
FISIOLÓGICOS EN LA ETAPA VEGETATIVA DE CACAO (*Theobroma cacao* L.)  
CLON CCN-51 EN LA PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE, SECTOR “EL  
PADMI”**

## 2. RESUMEN

En el cacao existen factores ambientales de importancia, como la sombra, que influyen en el desarrollo del cultivo desde su etapa vegetativa, y que no han sido considerados en diferentes estudios a pesar de que esta especie es considerada preferentemente umbrófila. En base a lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de tres niveles de sombra sobre parámetros morfo – fisiológicos en la etapa vegetativa del clon de cacao CCN-51. El estudio se llevó a cabo en la Estación Experimental “El Padmi” de la Universidad Nacional de Loja, utilizando plantas de 14 meses de edad, sembradas con una densidad de siembra de 3 x 4 m, bajo un diseño experimental completamente al azar, con tres tratamientos (0, 35 y 80 % de sombra) y seis repeticiones. Las variables morfológicas altura, longitud de brote, área de la sección del tronco (ASTT), área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF) se evaluaron cada 20 días, mientras que las variables fisiológicas: concentración de clorofila, densidad estomática y análisis de tejidos, se midieron al final del ensayo en campo. El pH y conductividad eléctrica (CE) del suelo fueron medidos cada 20 días. Los resultados sugieren que la sombra influye en la longitud de hoja, concentración de clorofila y densidad estomática; la mayor longitud de hoja y concentración de clorofila se obtuvo en plantas sometidas a un sombreado del 80 % mientras que, las plantas sometidas a un 35 % y 80 % de sombra, presentaron una menor densidad estomática con respecto a las plantas sometidas al tratamiento control. Las otras variables no manifestaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Estos resultados muestran que la sombra no influye directamente en aspectos morfológicos como el crecimiento de tallos y ramas, así como en la producción de hojas y brotes en la etapa vegetativa temprana del clon CCN-51; no obstante, aspectos fisiológicos relacionados a procesos fotosintéticos sí se ven afectados por la sombra, como densidad estomática y concentración de clorofila. Podemos agregar que, el clon CCN-51 se adapta aceptablemente a las condiciones del clima amazónico, en condiciones de plena luz, sombra media y/o intensa.

**Palabras clave:** *Theobroma cacao* L, crecimiento, desarrollo, radiación fotosintéticamente activa.

## ABSTRACT

In cocoa crops, there are important environmental factors, such as shade, which influence the development of the crop from the vegetative stage, and which have not been considered in many studies despite the fact that this species is considered preferably shade tolerant. Based on the above, the objective of this research was to determine the effect of three levels of shade on morpho-physiological parameters in the vegetative stage of cocoa clone CCN-51. The study was carried out at the Estación experimental "El Padmi" of the Universidad Nacional de Loja, using 14-month-old plants, planted at a planting density of 3 x 4 m, under a completely randomized experimental design, with three treatments (0, 35 and 80% shade) and six replicates. The morphological variables height, shoot length, trunk section area (ASTT), leaf area (FA) and leaf area index (LAI) were evaluated every 20 days, while the physiological variables: chlorophyll concentration, stomatal density and tissue analysis, were measured at the end of the field trial. Soil pH and electrical conductivity (EC) were measured every 20 days. The results suggest that shade influences leaf length, chlorophyll concentration and stomatal density; the highest leaf length and chlorophyll concentration were obtained in plants subjected to 80 % shade, while plants subjected to 35 % and 80 % shade had a lower stomatal density than plants subjected to the control treatment. The other variables did not show statistically significant differences between treatments. These results show that shade does not directly influence morphological aspects such as the growth of stems and branches, as well as the production of leaves and shoots in the early vegetative stage of clone CCN-51. However, physiological aspects related to photosynthetic processes are affected by shade, such as stomatal density and chlorophyll concentration. Also, the CCN-51 clone, in general, is a good performance in the Amazonian climate, both in full light, medium, and/or intense shade.

**Key words:** *Theobroma cacao* L, growth, development, photosynthetically active radiation.

### 3. INTRODUCCIÓN

El crecimiento y desarrollo del cacao están influenciados por las condiciones medioambientales de la zona de cultivo, estos factores ambientales afectan en un 70 % el desarrollo de la planta, incluidos temperatura, CO<sub>2</sub> y radiación solar; demostrando gran sensibilidad a la eco fisiología en el desarrollo de las plantaciones. Esta influencia, se aprecia claramente en el patrón de crecimiento de los ejes ortotrópicos, al formarse la corona de la planta (García, 1973, Almeida y Valle, 2007; Castro, 2015).

El cacao es un cultivo tradicional y de importancia económica en el Ecuador, es el tercer producto de exportación tradicional no petrolera cultivándose en el 20 % de la superficie agrícola nacional con alrededor de 601 954 ha (INEC, 2020). Como diagnóstico de las fincas cacaoteras en el Ecuador se determinó que, en la provincia de Zamora Chinchipe, la edad promedio de los cacaoteros del clon CCN-51 es de 56 años, cuyos ingresos principales son producto de otras plantaciones, debido a los bajos rendimiento en la provincia (0,66 t ha<sup>-1</sup>); estos pueden explicarse por la edad de las plantaciones (11 a 30 años), malas densidades de siembra y alta incidencia de enfermedades (INIAP, 2019).

En este marco, consideraciones asociadas al manejo de sombra del cultivo no se hacen presentes en los diagnósticos sobre el estado de las plantaciones y sus respectivas producciones; los conocimientos limitados sobre el manejo de sombra y la falta de investigaciones sobre el tema, vuelven equívocas las prácticas culturales de los productores sobre el cultivo de cacao (INIAP, 2019), además, sin este conocimiento fundamental, las recomendaciones a nivel de finca tienen una base científica débil.

Por consecuencia, la sombra en el cacao ha sido un aspecto muy discutido dentro del manejo del cultivo, ya que existe gran ambigüedad entre los resultados de investigaciones realizadas donde se asegura, que, bajo altas radiaciones, el cacao presenta fotoinhibición, mostrando ser un cultivo resistente a la sombra (De Aleida *et al.*, 2019); en contraposición a estudios donde se demuestra que bajo pleno sol, las plantas pueden presentar mecanismo de foto protección (Jaimez *et al.*, 2018; Suárez *et al.*, 2018).

En variedades ecuatorianas de cacao, como el clon CCN-51, a alta luminosidad se ha observado incrementos de hasta el 35 % en la tasa fotosintética neta; esta respuesta a condiciones de luz alta, no se ha reportado previamente en el cacao (Jaimez *et al.*, 2018). Por otro lado, el MAGAP (2012) menciona que el cacao debe ser cultivado bajo condiciones de sombra, y sostiene que su fisiología es funcional si crece en un entorno ambiental parecido a

montes y llanuras de la región amazónica, no obstante, no existen estudios que respalden dicha afirmación.

Con base en lo anterior, el uso de sombra es una de las variables más importantes en cuanto a manejo de cultivo se refiere, y su uso se ha recomendado en la zona de producción sin base en investigaciones, dando como resultado una práctica carente de eficiencia en cuanto a desarrollo de la planta y su posterior rendimiento. Trayendo consigo interrogantes que plantean cómo afectará a las variables morfológicas y fisiológicas la reducción de la radiación solar. Por tal razón el presente trabajo busca determinar el efecto de la disminución de la radiación solar sobre parámetros morfo – fisiológicos en la etapa vegetativa del clon CCN-51.

La importancia de buscar una solución a este problema, se sustenta bajo el argumento de que el proyecto generará la información teórica y práctica, necesaria para que los productores del sector y nacionales, obtengan mejores rendimientos potenciales y finales de cacao mediante un óptimo manejo de sombra en sus cultivos, además de generar conocimientos a la comunidad científica, ya que los datos recolectados podrán ser empleados en otras investigaciones en la misma zona, ya sea de este u otros cultivos.

En consecuencia, para analizar la influencia de la disminución de la radiación solar sobre el desarrollo vegetativo del cacao clon CCN-51 se propusieron los siguientes objetivos:

### **Objetivo general**

Determinar el efecto de tres niveles de sombra sobre parámetros morfo – fisiológicos en la etapa vegetativa del clon de cacao CCN-51 en la provincia de Zamora Chinchipe sector “El Pادمي”

### **Objetivos específicos**

- Establecer el impacto de diferentes niveles de radiación solar sobre parámetros morfológicos en la etapa vegetativa del clon de cacao CCN-51, bajo las condiciones ambientales de la zona “El Pادمي”, provincia de Zamora Chinchipe
- Determinar el efecto de diferentes niveles de radiación solar sobre parámetros fisiológicos de los tejidos de las plantas del clon de cacao CCN-51, bajo las condiciones ambientales de la zona “El Pادمي”, provincia de Zamora Chinchipe.



## 4. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1 Cacao (*Theobroma cacao* L.)

El cacao es una especie leñosa tropical alógama de la familia Malvaceae, nativa de los bosques lluviosos de la cuenca amazónica y otras áreas tropicales de América central.

Los primeros registros de la domesticación del cacao se encuentran en Mesoamérica entre México, Guatemala y Honduras, donde su uso está atestiguado desde alrededor del año 2 000 antes de Cristo. No obstante, estudios recientes demuestran que por lo menos una variedad de cacao tiene su punto de origen en la Amazonía, siendo utilizada en la región por más de 5 000 años (ANECACAO, 2015 a.; Tezera *et al.*, 2015).

En Ecuador, durante el tiempo de la colonia, el cacao se expandió en 4 zonas representativas, estas fueron: la zona “Arriba”, que actualmente comprende las provincias de Los Ríos y Guayas; se denomina “Arriba” debido a que venía corriente arriba del río Guayas; la zona de Manabí, ubicada en las cuencas del río Chone; la zona de Naranjal, que comprende una pequeña parte de la provincia de Guayas y El Oro y la zona de Esmeraldas, que redujo su producción por el mal de machete, no obstante, en esta última zona, aún se pueden encontrar fincas cacaoteras, con variedades nacionales puras (Enríquez, 2010). En la actualidad, el cultivo se ha extendido a zonas tropicales secas y tropicales húmedas de Ecuador, en la región costa y amazónica.

### 4.2 Morfología y fisiología del cacao

#### 4.2.1 Morfología

##### 4.2.1.1 *El árbol*

Es un árbol mediano, aunque puede alcanzar los 20 m de altura o más, cuando crece bajo sombra intensa. Tiene un tronco principal recto, que alcanza 0,8 a 1,2 m de longitud, donde crece el primero monillo. La altura es un factor genético muy estable, y se hereda con un par de genes aditivos; en cultivo, se mantiene normalmente entre cuatro y ocho metros de altura (Enríquez, 2010; Dostert *et al.*, 2011).

##### 4.2.1.2 *El tallo*

Es glabro o parcialmente pubescente cuando es joven. La corteza es oscura o de un tono gris – café, las ramas son café y finamente vellosas (Dostert *et al.*, 2011).

#### **4.2.1.3 Las hojas**

Las hojas son coriáceas, simples, enteras o ligeramente sinuadas, angostamente ovadas a ovadas – elípticas, con una longitud de 17 a 48 cm de largo y de 7 a 10 cm de ancho, con disposición alternada en la rama. La base de las hojas es redondeada o ligeramente cordada, con un ápice ligeramente apiculado. El peciolo tiene una longitud de siete a nueve centímetros.

El tamaño de las hojas varía mucho de acuerdo al ambiente, con menos luz son más grandes y con más luz son más pequeñas (Enríquez, 2010; Dostert *et al.*, 2011).

#### **4.2.1.4 La inflorescencia**

Es caulinar y cimosa. Las flores son pentámeras, hermafroditas, actinomorfas, con medidas que van de 10 a 20 mm de diámetro. El pedúnculo tiene una longitud de uno a tres centímetros. El cáliz es gamosépalo, con sépalos verdosos de tonos blancos o rosa claro de cinco a ocho milímetros de largo y 1,5 a 2 mm de ancho. La corola es dialipétala, con pétalos de color amarillento, glabros, con la parte inferior redondeada, de una longitud de seis a nueve milímetros de largo. Los estambres son 10 y lineares; cinco estambres fértiles se alternan con cinco estaminodios; todos los estambres están fusionados en la base formando un tubo; los estambres fértiles son de 2,5 a 3 mm de largo y están dispuestos frente a los pétalos; los estaminodios son violeta y de 6,5 a 7,5 mm de largo. El ovario es de dos a tres milímetros de largo, anguloso – ovado, ligeramente pentagonal y pentámero. Los óvulos se disponen en dos filas con 6 a 12 óvulos por fila (Dostert *et al.*, 2011).

#### **4.2.1.5 Fruto y semillas**

El fruto es una baya grande, denominada por muchos “mazorca”, polimorfa, esférica a fusiforme, con 5 a 10 surcos longitudinales; de color púrpura o amarillenta en su madurez, glabra, de 10 hasta 35 cm de largo y con un diámetro aproximado de siete centímetros, con un peso que varía de 200 a 1000 g. El endocarpo es de cuatro a ocho milímetros de grosor, duro y carnoso, y leñoso en estado seco. Las semillas son de color café – rojizas, ovadas, ligeramente comprimidas, de 20 a 50 mm de largo, de 12 a 16 mm de ancho y 7 a 12 mm de grosor (Dostert *et al.*, 2011).

#### **4.2.1.6 La raíz**

La raíz es pivotante. Los primeros meses de la planta, puede crecer entre 120 a 150 cm, alcanzando en suelos sueltos hasta dos metros. Un poco por debajo del cuello de la raíz, nacen

muchas raíces secundarias, y el mayor volumen (entre 85 % y 90 %), se encuentra en los primeros 25 cm de profundidad del suelo alrededor del árbol, aproximadamente en la superficie de su propia sombra. Sin embargo, muchos árboles tienen raíces alejadas del tronco principal (Enríquez, 2010).

#### **4.2.2 Fisiología**

El principal aspecto que afecta a la fisiología del cacao es la luz, pues de esta, depende la distribución y adaptación de la planta; este recurso estimula el crecimiento, desarrollo y producción de los cultivos. De la luz absorbida, una fracción se utiliza en la fotosíntesis, una parte significativa se pierde como calor y otra se pierde en forma de fluorescencia (Tezera *et al.*, 2015).

El cacao es cultivado bajo sombra, ya que, especialmente las plantas en estado vegetativo requieren baja intensidad lumínica, lo cual evita el estrés por déficit hídrico, que puede ocurrir por la exposición a plena luz. Se conoce que las plantas de bosques tropicales reciben una densidad de flujo fotónico (DFF) entre 5 y 25  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , que se traduce en uno a dos por ciento de la DFF recibida en el dosel; que por lo general es suficiente para asegurar que el cacao es un cultivo incapaz de adaptarse a una alta DFF, y se recomienda una sombra del 60 % a pesar de no existir acuerdos sobre la DFF que se necesita para maximizar la producción de este cultivo (Baligar *et al.*, 2008; Jaimez *et al.*, 2008).

Algunas especies, cómo el cacao, se originaron como plantas de sotobosque, por lo que el aparato fotosintético funciona a su máxima capacidad, y está adaptado a estas condiciones de baja DFF. Se ha sugerido que la sombra no excesiva podría ser ventajosa para árboles de cultivo en el trópico debido a que: (a) la tasa de fotosíntesis (PN) se satura a bajas DFF; (b) la radiación en el trópico durante gran parte del año es muy elevada y puede ocasionar daños fotoinhibitorios, particularmente cuando está asociada con déficit hídrico; y (c) las mejores condiciones microclimáticas tienen un efecto amortiguador sobre la humedad del aire y la disponibilidad de agua del suelo, lo que permite un prolongado funcionamiento y mantenimiento del intercambio gaseoso foliar (Tezera *et al.*, 2015).

En Ecuador, el cacao se ha adaptado a altas DFF, como en el caso de la costa ecuatoriana, donde crece sin sombra; por lo que se han evaluado caracteres anatómicos, como área folia específica (AFE) y fisiológicos (actividad fotoquímica del PSII), del cacao élite ecuatoriano a diferentes intensidades lumínicas con el fin de brindar una alternativa para mejorar la

producción de este tipo de cacao, y que complemente a un manejo agrícola adecuado, trayendo mejores beneficios a los productores (Tezera *et al.*, 2015).

### **4.3 Grupos genéticos**

Tradicionalmente, el cacao se clasifica en tres grupos: criollos, forasteros y trinitarios, estos últimos son híbridos, producto de la cruce entre especies de los dos primeros grupos (Enríquez, 2010; Dostert *et al.*, 2011). Sin embargo, en Ecuador principalmente existen cuatro grupos de cacao, colocando a la variedad Nacional como un grupo separado de los otros tres (Crouzillat *et al.*, 2000):

#### **4.3.1 Criollo**

El cacao Criollo comprende árboles delgados, con frutos de cubierta delgada y escultrada. En estado inmaduro, la cáscara es de color rojo o verde, tornándose amarilla y anaranjado rojizo en la madurez. Las almendras son gruesas casi redondas, con cotiledones ligeramente pigmentados.

Este tipo de cacao requiere de dos a tres días para completar su fermentación, es muy aromático, y comercialmente se enmarca dentro de los llamados cacaos finos. Este cultivo se dispersó desde México y América Central hacia otras partes del mundo, es de sabor muy agradable y alta calidad. Al ser adaptado a diferentes zonas de América, ha sido el cacao más delicado y de poca productividad, representado del cinco a diez por ciento de la producción mundial (Amores *et al.*, 2009, Enríquez, 2010; Dostert *et al.*, 2011).

#### **4.3.2 Forastero**

El cacao tipo Forastero es un complejo bastante grande, que aún no se encuentra bien definido y clasificado (Enríquez, 2010). Se incluyen todos los llamados cacaos corrientes de Brasil y los cultivados en el oeste africano, los cuales, son originarios de la cuenca superior del Amazonas.

Las flores de los cacaos Forasteros, presentan estaminodios de color violeta y las mazorcas están dotadas de surco y rugosidad notable, aunque en otros casos son lisas y con extremos redondeados. Este grupo se caracteriza por su fruto verde amarillento, un pericarpio grueso, mesocarpo lignificado, semillas redondeadas y ligeramente aplanadas con cotiledones púrpuras, que producen un chocolate con sabor básico de cacao. Con un 80 % de la producción mundial,

el grupo forastero es el más importante comercialmente (Amores *et al.*, 2009; Dostert *et al.*, 2011).

### **4.3.3 Trinitario**

Este grupo pertenece botánicamente a un complejo constituido por poblaciones híbridas entre los grupos criollos y forasteros, existiendo diferentes niveles de cruzamiento, lo que indica el grado de calidad. De este material, se han seleccionado la mayoría de las variedades de cacao que se explotan en el mundo (Amores *et al.*, 2009; Enríquez, 2010). El grupo es genéticamente muy heterogéneo y, morfológicamente, muy polimorfo, no siendo posible delimitarlo a través de características comunes. Las plantas son normalmente muy robustas con frutos verdes o pigmentados, y con semillas violeta claro a violeta oscuro. Entre el 10 a 15 % de la producción mundial de cacao se origina en las formas trinitarias (Dostert *et al.*, 2011).

### **4.3.4 Cacao nacional de Ecuador**

Presenta características semejantes al tipo forastero, sin embargo, existen pocas plantaciones puras, predominando plantaciones producto del cruzamiento natural con materiales introducidos de Venezuela y Trinidad, denominadas complejo Cacao Nacional Trinitario. Las mazorcas son amelonadas, con estrangulaciones en la base y en el ápice de la misma, con surcos y lomos poco profundos. La semilla presenta colores desde violeta pálido a lila, aunque en algunas ocasiones son blancas. De este tipo de cacao se obtiene uno de los mejores chocolates del mundo, por su sabor y aroma floral, combinado con perfiles de frutas y otros sabores (Paredes, 2009).

### **4.3.5 Clones**

Son variedades producidas por el hombre, que suelen identificarse con letras y números provenientes de su investigación (Paredes, 2009), algunos de los más significativos son:

#### **4.3.5.1 Clon CCN-51**

El clon de cacao Colección Castro Naranjal – 51 (CCN-51) cubre una parte de las plantaciones de la amazonía. Se caracteriza por su capacidad productiva, siendo hasta cuatro veces mayor a las clásicas producciones, y a su vez, por ser resistente a las enfermedades. Sus mazorcas son rojizas – moradas cuando son tiernas y de color rojizo anaranjado en la madurez. Presentan sabor a cacao de mediano a bajo, contienen grandes cantidades de grasa y su potencial se encuentra en la producción de manteca de cacao (Paredes, 2009; ANECACAO, 2015 b.).

#### **4.3.5.2 Clon INIAP EETP-800**

El clon Estación Experimental Tropical Pichilingue – 800 (EETP-800), denominado también “Aroma Pichilinge”, es el resultado de procesos de mejoramiento genético, donde se elevó la producción de un cacao fino y de aroma, a niveles iguales o superiores al CCN-51, y con mayor precocidad (INIAP, 2018 a.). Las zonas recomendadas para este clon son la parte media y alta de la cuenca del río Babahoyo, noroccidente de Pichincha y norte de Guayas. La forma del fruto es elíptica, con una longitud promedio de 19,17 cm y un ancho promedio de 8,86 cm, se caracteriza por ser de color amarillento. Las semillas del fruto tienen en promedio 2,43 cm de largo y ancho de 1,38 cm. El hábito de crecimiento del árbol es de copa semi – erecta, con floraciones entre el primer y tercer trimestre del año, generando un promedio de 18 mazorcas por planta y un rendimiento promedio de 2 471,16 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Su principal característica es que es tolerante a escoba de bruja, moniliasis y mal de machete (INIAP, 2018 b.).

#### **4.3.5.3 Clon INIAP EETP-801**

Denominado también “Fino Pichilingue”, es un cacao fino y de aroma, con producción igual o superior al clon CCN-51, con mayor precocidad (INIAP, 2018 a.) Las zonas recomendadas para la producción de este clon son la parte media y alta de la cuenca del río Babahoyo, noroccidente de Pichincha y norte de Guayas. El fruto es de forma oblonga, con valores promedios de largo y ancho de mazorca de 21,8 cm y 10,1 cm, respectivamente. La fruta es de color amarillo, con semillas con valores promedios de 2,68 cm y 1,26 cm, de largo y ancho, respectivamente. Al ser tolerante a enfermedades como escoba de bruja, moniliasis y mal de machete, y al presentar un hábito de crecimiento de copa semi – erecta, presenta un promedio de 18 mazorcas por árbol, dando como resultado un rendimiento de 2 000 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (INIAP, 2018 c.).

### **4.4 Factores de clima y suelo**

#### **4.4.1 Altitud**

El nivel adecuado para el cultivo se encuentra entre los 0 y 750 msnm, sin embargo, en las zonas tradicionales de producción en la amazonia, se cultiva en un rango de 150 a 800 msnm (Paredes, 2009).

#### **4.4.2 Temperatura**

La temperatura óptima de desarrollo del cacao se encuentra alrededor de 23 °C, siendo los límites 26 y 21 °C; cuando son menores a 21 °C, casi no hay floración, sin embargo, el cultivo puede crecer en temperatura no menores a 15 °C, pero en estas condiciones, su desarrollo es nulo (Enríquez, 2010). Por otro lado, las temperaturas en las que el cultivo se desarrolla en la amazonía varían de 23 a 26 °C (Paredes, 2009).

#### **4.4.3 Precipitación**

La cantidad de lluvia anual que satisface las necesidades del cultivo oscila entre 1 500 mm y 2 500 mm anuales en las zonas bajas cálidas, y de 1 200 mm a 1 500 mm anuales en las zonas más frescas o valles altos (Enríquez, 2010). No obstante, las precipitaciones en la amazonía se encuentran en un rango de 2 500 a 3 500 mm anuales, pero al presentar suelos drenados, se vuelven rangos satisfactorios para el cultivo (Paredes, 2009).

#### **4.4.4 Suelo**

El cacao requiere suelos ricos, profundos, francos arcillosos, con buen drenaje y topografía regular. Al tener raíces secundarias superficiales (a 25 cm del cuello de la planta), se requiere una capa orgánica en el suelo estable (Horizonte Ao), por ello es que el suelo debe presentar hojarasca, y materia orgánica todo el tiempo. El pH óptimo oscila entre 6,0 y 6,5, aunque tolera rangos de 4,5 hasta 8,5; donde la producción es decadente (Enríquez, 2010).

#### **4.4.5 Humedad relativa**

Sin suficiente agua en el suelo, las plantas se benefician de una alta humedad relativa, aspecto que evita la transpiración foliar excesiva. Niveles superiores al 70 % favorecen el establecimiento del cultivo luego del trasplante, y una media de 75 a 80 % favorece el desarrollo del cultivo, no obstante, niveles mayores al 85 %, con abundante precipitación y altas temperaturas, estimulan la presencia de enfermedades fungosas (Amores *et al.*, 2009).

#### **4.4.6 Luminosidad**

El cacao cuando es joven requiere de una sombra relativamente densa que permita el paso del 30 a 50 % de la luminosidad total recibida en el sitio. Este aspecto ejerce un efecto regulador en la temperatura del suelo que si se eleva por encima de 38 °C deprime la actividad microbiana, actuando en contra de la absorción de los pelos radicales y acelerando la pérdida de humedad.

A medida que crece la planta, es recomendable reducir progresivamente la sombra para permitir el paso del 70 % de la luminosidad, o más, si se trata de plantaciones sembradas con alta densidad (Amores *et al.*, 2009).

Sin embargo, la evidencia ha demostrado que se puede cultivar cacao sin sombra, bajo condiciones especiales, mayores cuidados y altos riesgos (Enríquez, 2010).

#### **4.5 Sombreo en el cultivo de cacao**

La condición de sombra es fundamental durante el desarrollo de la planta, tanto para aspectos fisiológicos como morfológicos; muchas recomendaciones son en base a sombra sobre el cultivo, tanto en etapas tempranas, o incluso, durante todo el tiempo de la plantación (Amores *et al.*, 2009; MAGAP, 2012) No obstante, existe evidencia que el cultivo de cacao, puede sembrarse y desarrollarse sin sombra (Enríquez, 2010).

En el primer caso, existen estudios donde se han determinado diferentes aspectos que apoyan que el cacao es una planta tolerante a la sombra, pues, el área foliar aumenta en condiciones de sombreado, al igual que el contenido de clorofila, mecanismo que ayuda a aumentar la fotosíntesis. En pleno sol, la planta está sometida a una mayor transpiración que se puede traducir en estrés hídrico y un envejecimiento acelerado de las hojas, apoyado en resultados que muestran que, en pleno sol, se presenta fotoinhibición, demostrando que la planta tolera y se desarrolla específicamente bajo sombra (Almeida y Valle 2007; De Almeida *et al.*, 2019),

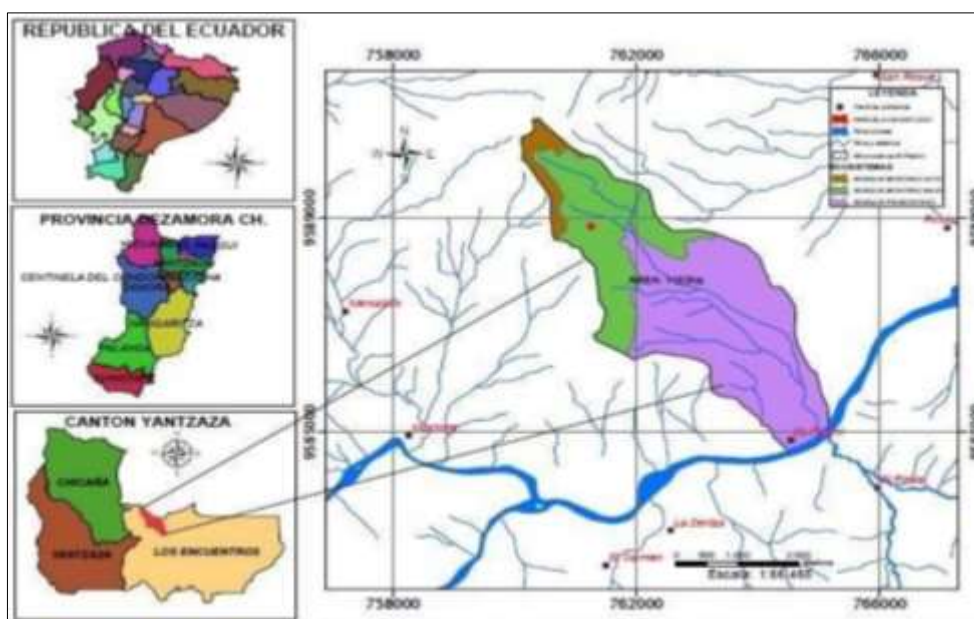
En el segundo caso, varios estudios han demostrado que, aunque algunas plantas presentan fotoinhibición, muchas otras han desarrollado mecanismos de fotoprotección, disminuyendo el contenido de clorofila en las hojas, pero aumentando el contenido de carotenoides. Otros resultados más profundos, en estudios con plantas expuestas a pleno sol, muestran que no existe daño en los sistemas fotoquímicos esenciales para la fotosíntesis; en plantas expuestas a altos niveles de radiación, e incluso, en el clon CCN-51, la tasa fotosintética neta puede aumentar hasta un 35 % en plantas expuestas a pleno sol, demostrando que el cacao es un cultivo que se puede sembrar sin el establecimiento de sombra (Jaimez *et al.*, 2018; Suárez *et al.*, 2018).



## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la provincia de Zamora Chinchipe, cantón Yantzaza, en la Estación Experimental “El Padmi” de la Universidad Nacional de Loja, ubicada en las coordenadas geográficas 3°51’S y 78°45’O, a una altura de 820 msnm, (Figura 1). El cantón Yantzaza posee un clima cálido húmedo, con una temperatura media anual de 22,7 °C, y precipitaciones durante todo el año con un promedio anual de 1959 mm, siendo el mes más seco agosto y el más húmedo abril, con promedios mensuales de 132 mm y 212 mm respectivamente (Climate-Data, 2019).



**Figura 1.** Localización del área de estudio (Estación Experimental El Padmi - UNL).

### 5.2 Material vegetal

El trabajo de tesis se llevó a cabo, en un cultivo de cacao ya establecido, que forma parte del proyecto de investigación “Efecto de la radiación fotosintéticamente activa sobre cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Región Sur del Ecuador y sus implicaciones agronómicas”.

El material vegetal corresponde a plantas de 14 meses de edad, las cuales fueron adquiridas en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) (Figura 22).

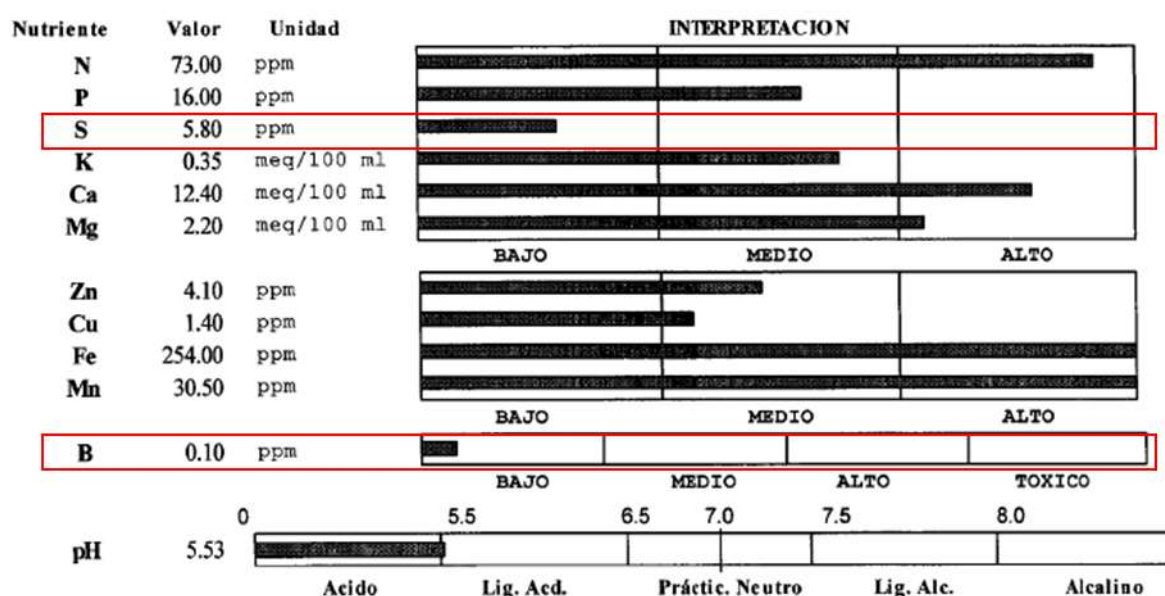
### 5.3 Análisis de suelo

Previo al establecimiento de los tratamientos, se realizó un análisis de suelo, para ello, el muestreo se realizó de forma aleatoria tomando ocho submuestras, las cuales se homogeneizaron y a través del método de los cuartos opuestos se obtuvo una muestra representativa de aproximadamente un quilogramo. Esta fue enviada al Laboratorio de Manejo de Suelos y Aguas de la Estación Experimental “Santa Catalina” del INIAP para el análisis físico y químico (Anexo 1).

### 5.4 Manejo del experimento

Con respecto al cultivo, las plantas se encuentran a una distancia de tres metros entre hilera y cuatro metros entre plantas.

A partir de los resultados del análisis de suelo (déficit de azufre (S) y boro (B) – figura 3.), se hizo una corrección, aplicando 5 y 20 g por planta planta de ácido bórico y sulfato de magnesio, respectivamente, para llevar los niveles de contenido de elementos en el suelo de bajo a medio esto previo al establecimiento de los tratamientos en campo.



**Figura 2.** Déficit de elementos: azufre (S) y boro (B) según análisis de suelo previo al establecimiento del ensayo.

Para el establecimiento de los tratamientos, se utilizó malla sarán de diferentes niveles de retención de Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR, por sus siglas en inglés), logrando así los niveles de 0 %, 35 % y 80 % de sombra. Esta malla se instaló a 1,5 m de altura desde el suelo, y se mantuvo así durante todo el tiempo de ejecución del ensayo (Figura 23).

Cabe mencionar, que, al evaluar el efecto único de la sombra sobre las plantas, no se siguió un plan de fertilización. De la misma manera se aplicó el mismo cuidado y manejo agrotécnico a todas las plantas, tanto en control de arvenses, plagas y enfermedades, según los requerimientos exigidos en relación con el entorno y condiciones biofísicas propias de la zona de estudio.

La recolección de los datos se realizó desde el 2 de agosto de 2020 hasta el 16 de enero de 2021 para las variables morfológicas (fase de campo) (Figura 24).

En cuanto a las variables de densidad estomática y concentración de clorofila, las muestras se recolectaron el 24 de enero de 2021 (173 Días Después del Tratamiento [DDT]), y para análisis de tejidos se recolectaron el 9 de febrero de 2021 (191 DDT) (fase de laboratorio) (Figura 25).

## **5.5 Diseño experimental**

El diseño experimental que se utilizó fue un Diseño Completamente al Azar (DCA), con tres tratamientos, correspondientes a tres niveles de sombreo: Tratamiento 1: 0 % de sombra (T1); Tratamiento 2: 35 % de sombra (T2) y Tratamiento 3: 80 % de sombra (T3); y seis repeticiones por tratamiento (Figura 3). Se consideró a cada planta de cacao como Unidad Experimental (UE).

### **5.5.1 Modelo matemático del diseño experimental**

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

#### **Donde:**

$Y_{ij}$ . Variable de respuesta.

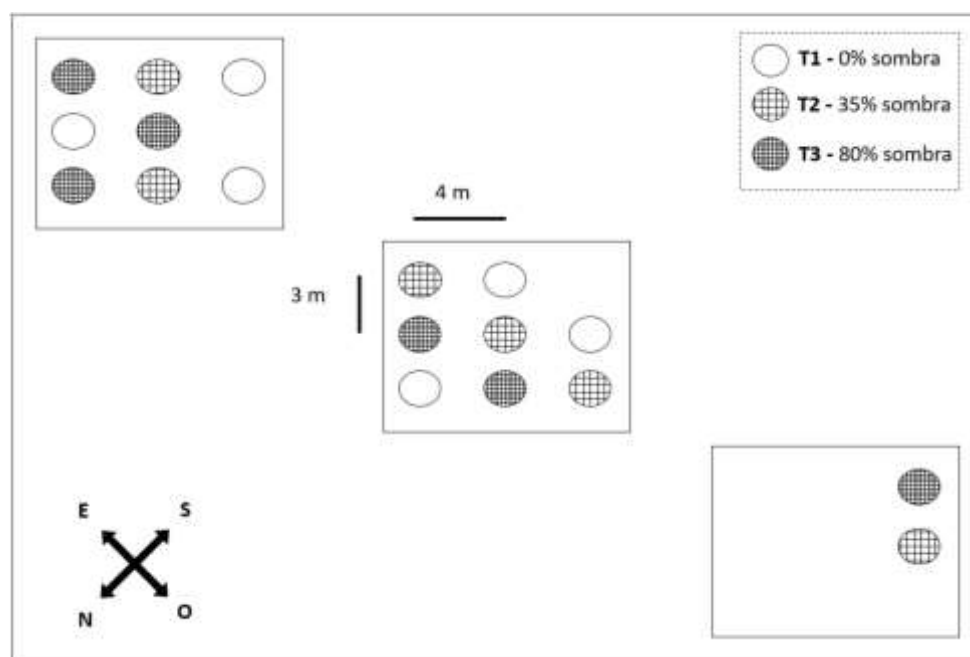
$\mu$ . Media general de la variable respuesta.

$\tau_i$ . Efecto del tratamiento (i: 1, 2, 3).

$\varepsilon_{ij}$ . Error experimental

## 5.5.2 Esquema del diseño experimental

A continuación, se presenta el esquema del diseño experimental aplicado en campo:



**Figura 3.** Esquema del diseño.

- Tres tratamientos (0, 35 y 80 % de sombra).
- 6 repeticiones.
- 18 UE
- El marco de plantación fue de 3 m entre hilera y de 4 m entre planta.

## 5.6 Variables evaluadas

### 5.6.1 Altura de la planta

Con la ayuda de un flexómetro se tomó la altura en cm desde el cuello de la planta hasta el ápice de todas las UE, obteniendo un total de seis repeticiones por tratamiento. La frecuencia con la que se tomaron los datos fue cada 20 días.

### 5.6.2 Longitud del brote

Se etiquetó un brote del tercio superior de la planta, dando como resultado seis repeticiones del T1, cuatro repeticiones del T2 y cuatro repeticiones del T3; y, con la ayuda de un flexómetro, se midió su longitud desde la axila del brote hasta su ápice; la frecuencia con la que se tomaron estos datos fue cada 20 días.

### **5.6.3 Área de sección transversal del tronco (ASTT)**

Se midió el diámetro del tronco a cinco centímetros del suelo (Porta Injerto [PI]) y a tres centímetros del sitio de injerto de la planta (Bareta [B]) de todas las UE, obteniendo seis repeticiones de todos los tratamientos; al inicio y final de la fase de campo (agosto 2020 – enero 2021) con ayuda de un calibrador o pie de rey y, aplicando la fórmula del área de la circunferencia a partir del diámetro se obtuvo el ASTT.

### **5.6.4 Longitud y número de metámeros**

Los datos de estas variables fueron tomados al final de la fase de campo (enero 2021). Para la longitud y número de metámeros, se tomó la longitud final que alcanzaron los brotes etiquetados y se dividió para el número total de nudos del brote.

### **5.6.5 Área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF)**

Para el área foliar se tomaron en cuenta las ecuaciones ajustadas del área foliar tanto de largo y ancho de las hojas del clon de cacao CCN-51 (Anexo 2), realizadas por Espinoza (2021) en el periodo agosto – diciembre, en estudios de interacción sombra/nutrición, del mismo macroproyecto de la Universidad Nacional de Loja. Con base en ello, se consideró el largo de todas las hojas de cada planta de cacao. Y se empleó la siguiente ecuación:

$$AF = 0.3146x^{1.9241}$$

Para determinar el IAF se sumó el AF de todas las hojas de la planta y se la dividió para la superficie que ocupa en el suelo.

$$IAF = \frac{AF \text{ (de la planta)}}{\text{superficie del suelo}}$$

Estas variables fueron medidas de todas las UE al final de la fase de campo.

### **5.6.6 Densidad estomática (DE)**

El conteo de estomas se realizó por el método de la impronta descrito por Barrientos *et al.* (2003), el cual consistió en aplicar esmalte cosmético de uñas transparente en un área pequeña del envés de la hoja; una vez seco se retiró y se colocó en un portaobjeto para ser observadas en un microscopio Olympus CX31 con el objetivo 10x, y mediante el uso del programa Micro Cam 5.7 se capturaron seis imágenes de tres campos por muestra, obteniendo 18 repeticiones por tratamiento.

Para el conteo de estomas, se marcó en cada microfotografía un área de 120 000  $\mu\text{m}^2$  y se contaron los estomas de dicha área, el resultado final se expresó en estomas  $\text{mm}^{-2}$ .

### 5.6.7 Concentración de clorofila

La concentración de clorofila se determinó según el protocolo descrito por Rodés y Collazo (2006). Para ello, se colectaron alrededor de 10 hojas sanas de cacao, con cuatro repeticiones por tratamiento, se las envolvió en toallas de papel humedecidas y se guardaron en una hielera para su transporte al Laboratorio de Análisis Químico de la Universidad Nacional de Loja. Una vez en el laboratorio, se lavó, seco y cortaron secciones sin nervaduras de cada una de las hojas, clasificándolas por tratamiento y repetición.

Para extraer los pigmentos, se pesó un gramo de hoja, se sumergió en seis mililitros de etanol al 90 % dentro de un tubo de ensayo previamente envuelto en papel aluminio, para evitar que penetren los rayos del sol. Seguidamente, se llevó a baño maría a 80 °C durante 20 minutos para que los pigmentos (clorofila) salgan de la muestra vegetal; Luego de este tiempo los pigmentos se diluyeron en el solvente y, por último, se retiró el material vegetal de los tubos.

Para cuantificar los pigmentos, se tomó un mililitro del sobrenadante de cada uno de los extractos y se diluyó hasta 10 ml con el solvente utilizado (blanco), después se midió en un espectrofotómetro UV Hach DR 2800, taponado de tal manera que no se volatilice, las longitudes de onda para medir la cantidad de absorbancia fueron 645 y 663 nm (Mackinney, 1941), para expresar los resultados se emplearon las siguientes fórmulas:

$$Ca \left( \frac{\text{ml}}{\text{g}} \right) = \frac{((12,7 * A663) - (2,69 * A645)) * \text{vol. del extracto}(\text{ml})}{\text{peso de la hoja}(\text{g})}$$

$$Cb \left( \frac{\text{ml}}{\text{g}} \right) = \frac{((22,9 * A645) - (4,68 * A663)) * \text{vol. del extracto}(\text{ml})}{\text{peso de la hoja}(\text{g})}$$

$$C \text{ total} \left( \frac{\text{ml}}{\text{g}} \right) = \frac{((20,2 * A645) - (8,02 * A663)) * \text{vol. del extracto}(\text{ml})}{\text{peso de la hoja}(\text{g})}$$

### 5.6.8 Análisis de tejidos

Para el análisis de tejidos, se colectaron alrededor de seis hojas de cacao sanas de tres repeticiones por cada tratamiento, y se procedió a envolver en toallas de papel humedecidas, etiquetarlas y almacenarlas en una caja frigorífica con hielo para su traslado hasta el Laboratorio de Suelos, Tejidos Vegetales y Aguas, de la Estación Experimental Pichilingue del INIAP. Los

resultados se expresaron en “%” (porcentaje) de concentración de: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg).

#### **5.6.9 Determinación de pH y conductividad eléctrica (CE) del suelo**

El pH y la Conductividad Eléctrica (CE) se midieron aproximadamente cada 20 días durante la fase de campo (agosto 2020 – enero 2021). Para ello, se tomó una muestra de suelo de 130 g, 100 g para CE y 30 g para pH, de tres puntos alrededor del tronco de la planta en proyección de la copa del árbol a una profundidad de entre cinco y diez centímetros. Las muestras fueron etiquetadas a razón de cuatro repeticiones por tratamiento (12 muestras en total) y enviadas al Laboratorio de Análisis Químico de la Universidad Nacional de Loja para su análisis.

#### **5.7 Análisis estadístico**

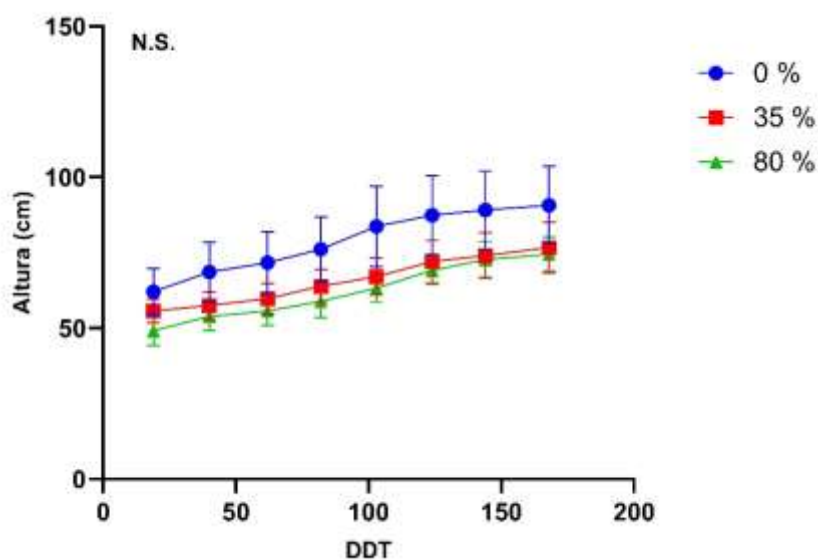
Se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) al 95 %, para determinar si existen o no diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Cuando hubo diferencias entre tratamientos, se aplicó una prueba de comparaciones múltiples de Tukey o LSD de Fisher para determinar cuál fue el mejor tratamiento. Además, para determinar una relación entre variables cuantitativas, se realizaron pruebas de Correlación de Pearson (95 %). Todos los análisis señalados, se realizaron con el Software InfoStat Versión 2019.

## 6. RESULTADOS

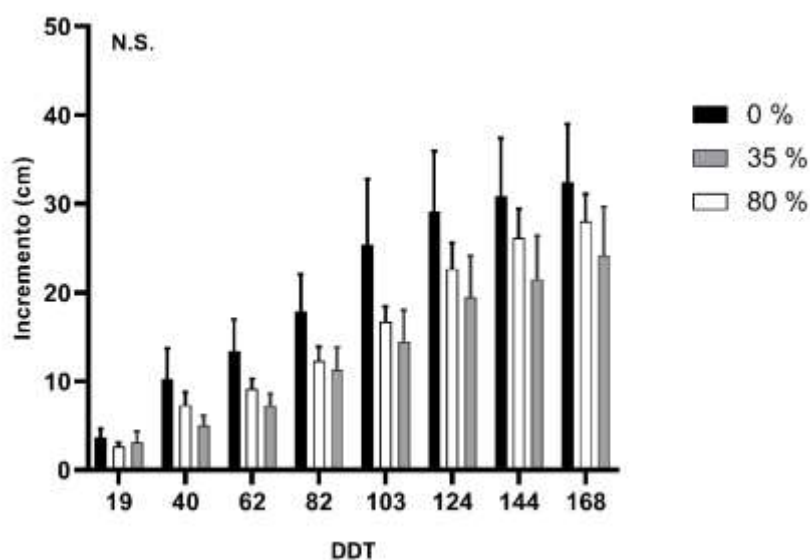
### 6.1 Variables morfológicas

#### 6.1.1 Altura de planta

La altura de las plantas de cacao CCN-51, no presentó diferencias significativas entre sus tratamientos ( $p = 0,9381$ ;  $p > 0,05$ ) Además, mostraron una dinámica de crecimiento (Figura 4) e incremento de altura (Figura 5) similar en los tres tratamientos de sombra.



**Figura 4.** Dinámica de crecimiento del cacao CCN-51 bajo tres niveles de sombra T1: 0 %, T2: 35 % y T3: 80 %; No existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (N.S.). Barras verticales representan el error estándar.



**Figura 5.** Incremento de altura durante de cacao CCN-51 en tres niveles de sombreo; N.S. Barras verticales representan el error estándar.



No obstante, los valores promedio de altura, medidos en cm, de cacao CCN-51, desde la altura promedio inicial (0 DDT) hasta la altura promedio final (168 DDT), mostró que las plantas expuestas a 0 % de sombra (T1) presentan una altura ligeramente mayor respecto de los demás tratamientos (Tabla 1), y un incremento ligeramente mayor del tratamiento de 0 % de sombra (Figura 5).

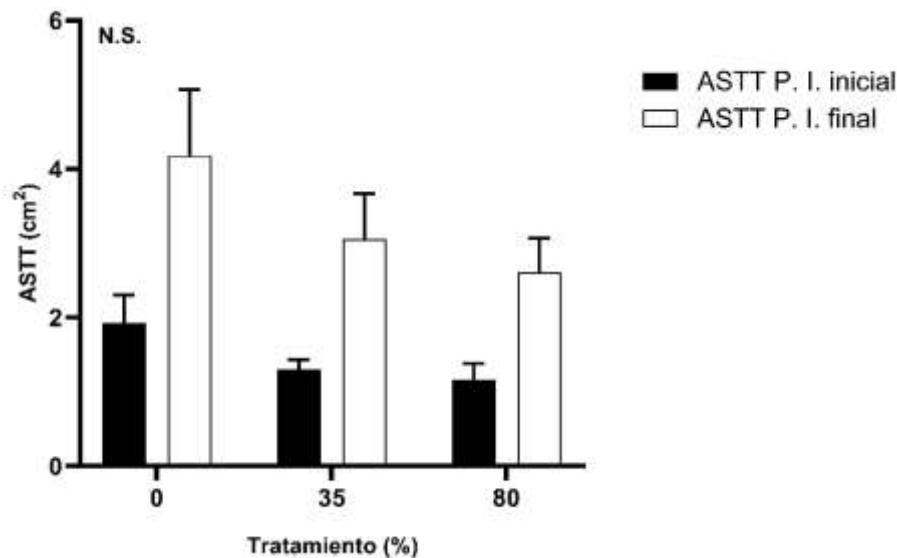
**Tabla 1.** Crecimiento en altura (cm) de cacao CCN-51 bajo tres niveles de sombreado: T1: 0 %, T2: 35 % y T3: 80 %, durante 168 días.

Trat. (% sombra)	Días después del tratamiento (DDT)									Promedio
	0	19	40	62	82	103	124	144	168	
0	58,29	62,00	68,57	71,64	76,14	83,71	87,43	89,14	90,71	<b>76,40</b>
35	52,50	55,67	57,50	59,75	63,83	67,00	72,00	74,00	76,67	<b>64,32</b>
80	46,50	49,17	53,83	55,67	58,83	63,25	69,17	72,17	74,50	<b>60,34</b>

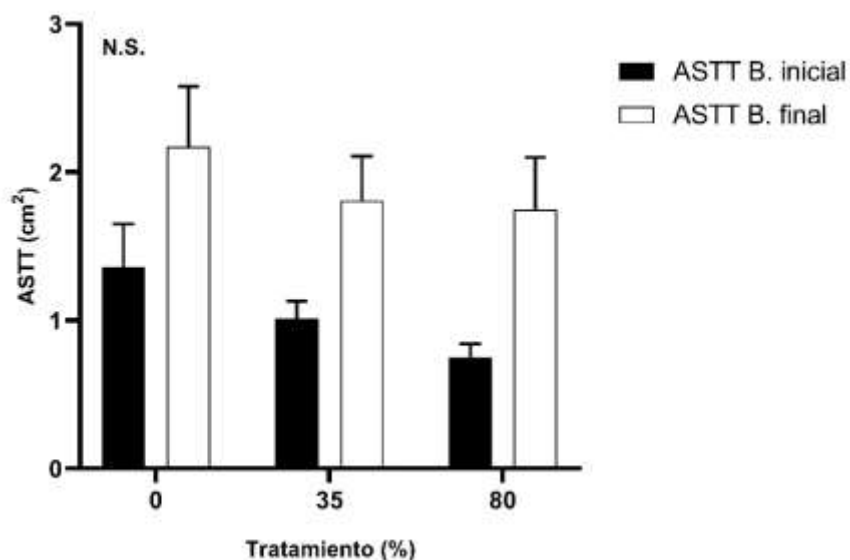
\* No existieron diferencias significativas (N.S.).

### 6.1.2 Área de sección transversal de tronco (ASTT)

El ASTT no presentó diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) ( $p = 0,1783$  para Porta Injerto (P.I.) y  $p = 0,6747$  para la Baretta (B.), tanto al inicio como al final del ensayo. Según la morfología propia de la planta, el ASTT P.I. (Figura 6) fue mayor al ASTT B. (Figura 7).

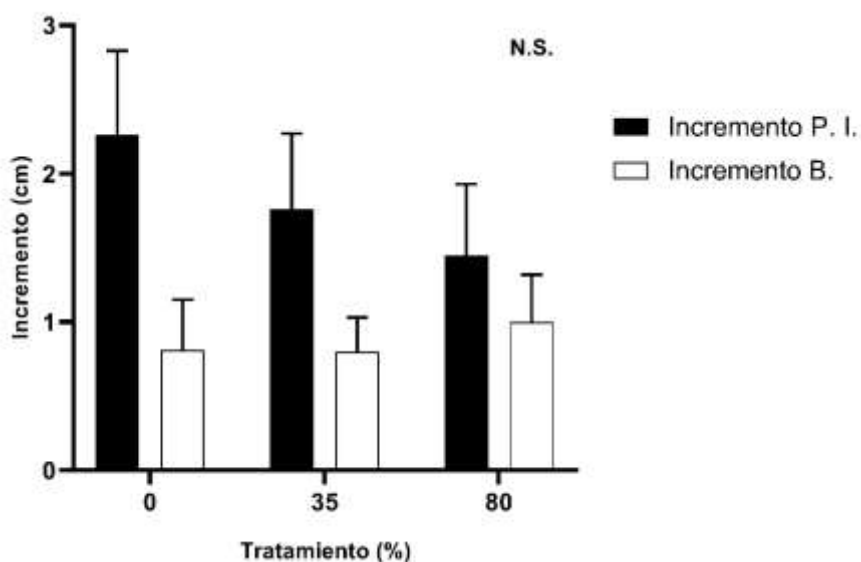


**Figura 6.** Área de sección transversal del tronco del porta injerto (ASTT PI) del cacao CCN-51 bajo tres niveles de sombra; N.S. Barras verticales representan el error estándar.



**Figura 7.** Área de sección transversal del tronco de la baretta (ASTT B) del cacao CCN-51 bajo tres niveles de sombra. N.S. Barras verticales representan el error estándar.

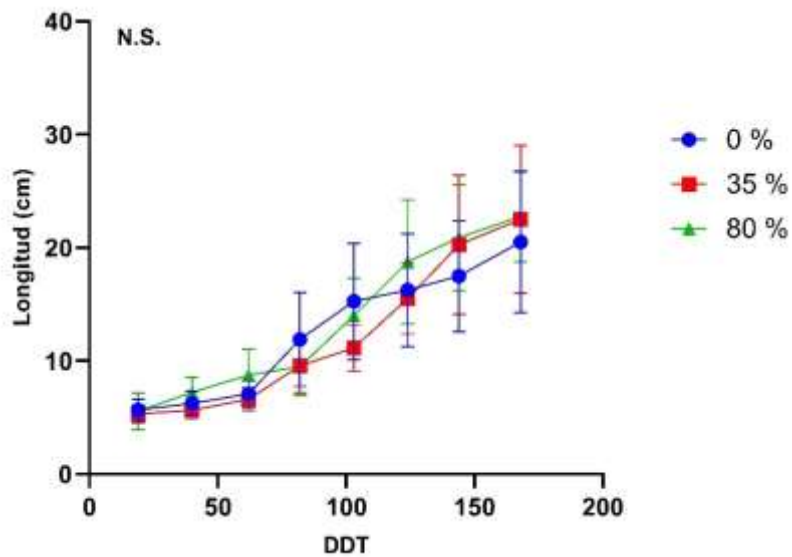
De igual manera, el incremento de ASTT tanto para PI como de la B no exhibieron diferencias significativas ( $p = 0,5529$  incremento P.I. y  $p = 0,8765$  incremento B;  $p > 0,05$ ) (Figura 6), y tuvieron la misma tendencia observada en el incremento de altura.



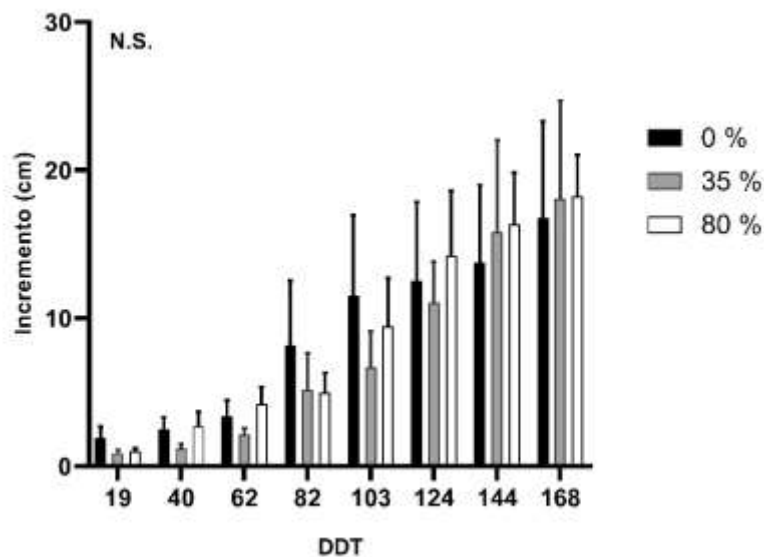
**Figura 8.** Incremento en el ASTT tanto del porta injerto y baretta de cacao CCN-51 bajo tres niveles de sombra. N.S. Barras verticales representan el error estándar.

### 6.1.3 Longitud de brote

La longitud del brote presentó un crecimiento similar entre los tratamientos, por lo que no existieron diferencias significativas entre ellos ( $p = 0,8051$ ;  $p > 0,05$ ). En consecuencia, la dinámica del crecimiento de la longitud de brote (Figura 9) no varió, y a su vez estuvo acorde al incremento de la longitud del brote (Figura 10).



**Figura 9.** Dinámica de crecimiento del brote del cacao CCN-51 sometido a tres niveles de sombra: T1: 0 %, T2: 35 % y T3: 80 %. N.S. Barras verticales representan el error estándar.



**Figura 10.** Incremento de la longitud del brote del cacao CCN-51 bajo tres niveles de sombra. N.S. Barras verticales representan el error estándar.

Sin embargo, se puede observar que el incremento en la longitud del brote fue mayor en los tratamientos de 35 % y 80 % de sombra (T2 y T3 respectivamente), sin llegar a ser estadísticamente diferentes (Figura 10), lo que estuvo relacionado a un ligero aumento en la longitud final de los brotes (Tabla 2).

**Tabla 2.** Longitud de los brotes (cm) del cacao CCN-51, bajo tres niveles de sombra T1: 0 %, T2: 35 % y T3: 80 %., durante 168 días

Trat. (% sombra)	Días después del tratamiento (DDT)								Promedio
	19	40	62	82	103	124	144	168	
<b>0</b>	3,72	5,65	6,25	7,08	11,88	15,25	16,25	17,50	<b>20,50</b>
<b>35</b>	4,45	5,33	5,63	6,60	9,58	11,13	15,50	20,25	<b>22,50</b>
<b>80</b>	4,53	5,53	7,23	8,75	9,50	14,00	18,75	20,88	<b>22,75</b>

\* No existieron diferencias significativas (N.S.).

#### 6.1.4 Longitud y número de metámeros

La longitud y el número de metámeros, no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ( $p = 0,6720$  para longitud de metámeros y  $p = 0,9382$  para número de metámeros;  $p > 0,05$ ). En lo que se refiere a los brotes y número de nudos en el brote, mostraron longitudes similares entre tratamientos (Tabla 3).

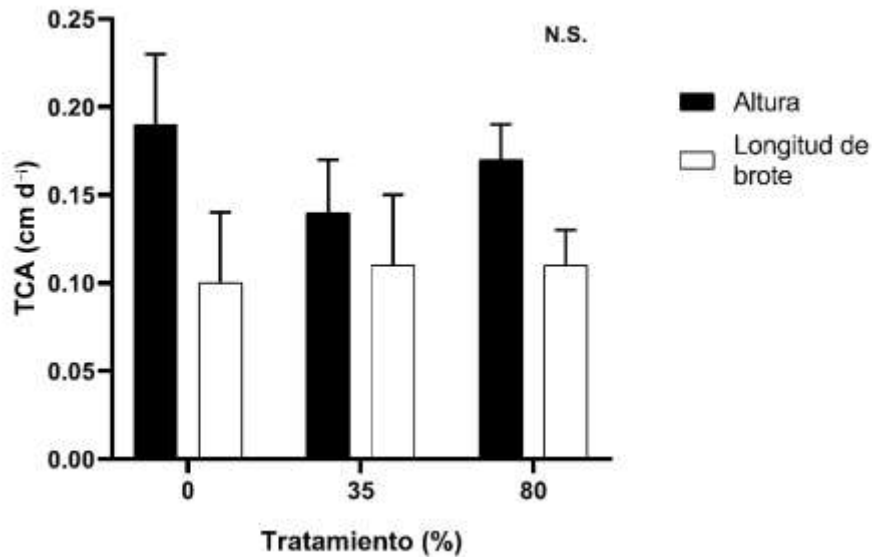
**Tabla 3.** Longitud (cm) y número de metámeros, en brotes del tercio medio del cacao CCN-51, sometido a tres niveles de sombra (T1: 0 %, T2: 35 % y T3: 80 % de sombreado).

Trat. (% Sombra)	Long. Brote (cm)	Núm. Metámeros	Long. Metámero (cm)
<b>0</b>	20,5	8,33	2,95
<b>35</b>	22,5	7,75	3,68
<b>80</b>	22,75	7,25	3,11

\* La tabla nos muestra la longitud del brote, número y longitud de metámeros. N. S.

#### 6.1.5 Tasa de crecimiento

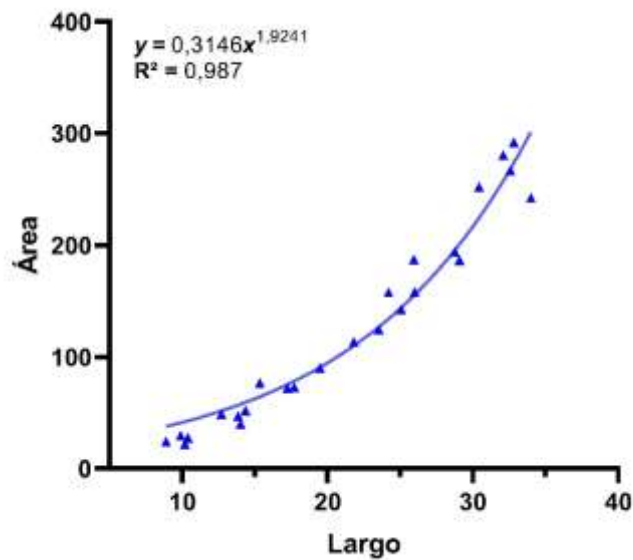
En relación con lo expuesto en acápite anteriores, en las tasas de crecimiento tanto relativas (Anexo 3) como absolutas (Figura 11), no se obtuvieron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ), tanto para altura y longitud del brote; en consecuencia, no se observó un efecto de la sombra sobre el crecimiento en altura ni elongación de los brotes de las plantas de cacao CCN-51.



**Figura 11.** Tasa de crecimiento absoluta (TCA) tanto de altura como de longitud de brote de cacao CCN-51 bajo tres niveles de sombra. N.S. Barras verticales representan el error estándar.

### 6.1.6 Área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF)

Se tomó la ecuación ajustada al largo de la hoja (Figura 12), el ajuste de regresión presentó un valor de  $R^2 = 0,987$ , y se utilizó para calcular el AF.



**Figura 12.** Ecuación del AF de Cacao CCN-51 ajustada al largo de la hoja.

#### 6.1.6.1 Área foliar

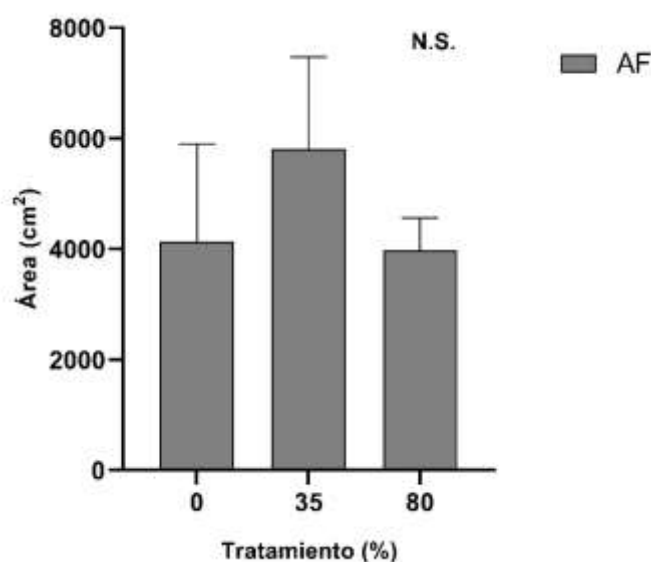
No hubo efecto de la sombra sobre el AF ( $p = 0,6456$ ;  $p > 0,05$ ) (Figura 13), no obstante, podemos mencionar que la longitud de las hojas de los tratamientos 35 % (T2) y 80 % (T3) de sombra, fueron mayores a las longitudes de las hojas del tratamiento 0 % (T1); sin embargo, al

presentar más hojas las plantas del T1 compensó su corta longitud. Por su parte el T3 presentó menos hojas en comparación a los otros tratamientos, y mostró similar AF que el T1 presentando mayor longitud en las hojas. El más efectivo fue el T2 que, aunque con similar longitud de hoja que el T3, presentó mayor número de hojas y por ende una mejor AF (Tabla 4).

**Tabla 4.** Longitud y número de hojas, área folia e índice de área foliar del cacao CCN-51 sometido a tres niveles de sombra: 0 %, 35 % y 80 % (T1, T2 y T3 respectivamente).

Trat. (% sombra)	Long. de hoja (cm)	Núm. hojas	AF	IAF
0	13,53 B	65,29 A	4133,78	0,0295
35	17,97 A	60,50 A	5808,12	0,0415
80	19,59 A	36,83 B	3975,17	0,0284

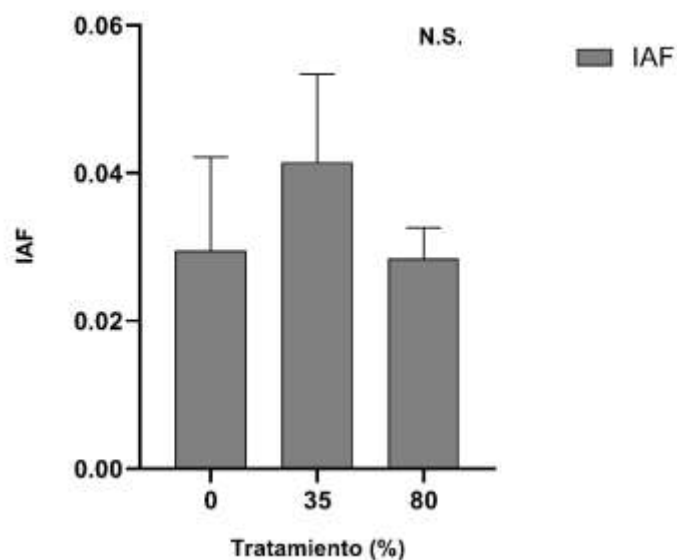
\*La tabla muestra los promedios de: longitud de la hoja, número de hojas por planta, además de AF e IAF; para longitud de hojas y número de hojas, letras iguales no representan diferencias significativas entre sí; para AF e IAF no se encontraron diferencias significativas.



**Figura 13.** Área foliar (AF) del cacao CCN-51 bajo tres niveles de sombra. N. S. Barras verticales representan el error estándar.

#### 6.1.6.2 Índice de área foliar (IAF)

Tras conocer los resultados del AF, se esperaba que el IAF (Figura 14), conserve la misma tendencia; se comprobó que no existen diferencias significativas entre los tres tratamientos de sombra, sobre el IAF de la planta ( $p = 0,6460$ ), y de igual manera, el tratamiento de 35 % de sombra presenta un mayor IAF, aunque no llega a ser estadísticamente significativo.



**Figura 14.** Índice de área foliar del cacao CCN-51 bajo tres niveles de sombra. N.S. Barras verticales representan el error estándar.

## 6.2 Variables fisiológicas

### 6.2.1 Concentración de clorofila

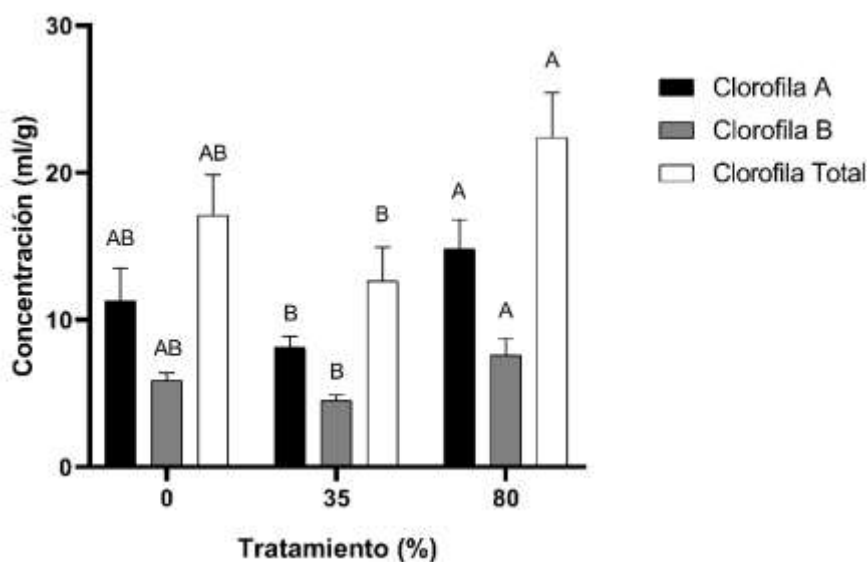
En la tabla 5 se presentan los resultados del análisis de clorofila A, B y total, evaluadas a los 176 DDT, se encontraron diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ), por lo que se procedió a realizar una prueba de comparación de Tukey al 90 %.

**Tabla 5.** Concentración de clorofila (ml/g) en el cacao CCN-51, bajo tres niveles de sombreado: 0 %, 35 % y 80 % (T1, T2 y T3 respectivamente.)

Trat. (% sombra)	Clorofila A (ml/g)	Clorofila B (ml/g)	Clorofila total (ml/g)
0	11,28 AB	5,85 AB	17,12 AB
35	8,12 B	4,53 B	12,64 B
80	14,81 A	7,60 A	22,40 A

\* En la tabla se observan los valores de concentración de clorofila del cacao CCN-51; letras iguales en columna, no representan diferencias significativas entre ellas.

Se determinó que, tanto para clorofila A, B y total hubo una mayor concentración en el tratamiento de 80 % de sombra, en comparación a la encontrada en el tratamiento de 35 % de sombra (Figura 15).



**Figura 15.** Concentración de clorofila en el cacao CCN-51 bajo tres niveles de sombreo: T1: 0 %, T2: 35 % y T3: 80 % de sombra, letras iguales entre barras del mismo color no representan diferencias significativas. Barras verticales representan el error estándar.

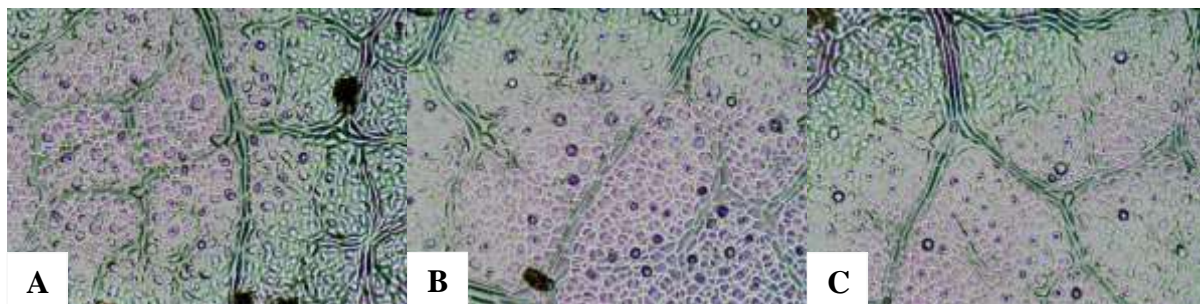
### 6.2.2 Densidad estomática

La densidad de estomas  $\text{mm}^{-2}$ , a los 176 DDT, fue mayor en el tratamiento de 0 % de sombra (Figura 16), con una diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ), en comparación a los tratamientos de 35 % y 80 % (Tabla 6).

**Tabla 6.** Densidad de estomas (estomas  $\text{mm}^{-2}$ ) en cacao CCN-51 bajo tres niveles de sombreo: 0 %, 35 % y 80 % (T1, T2 y T3 respectivamente).

Trat. (% sombra)	# de estomas $\text{mm}^{-2}$
0	1215,78 A
35	919,64 B
80	939,46 B

\* En la tabla se muestra la densidad de estomas por  $\text{mm}^2$ , letras iguales en columna no representan diferencias significativas entre ellas.

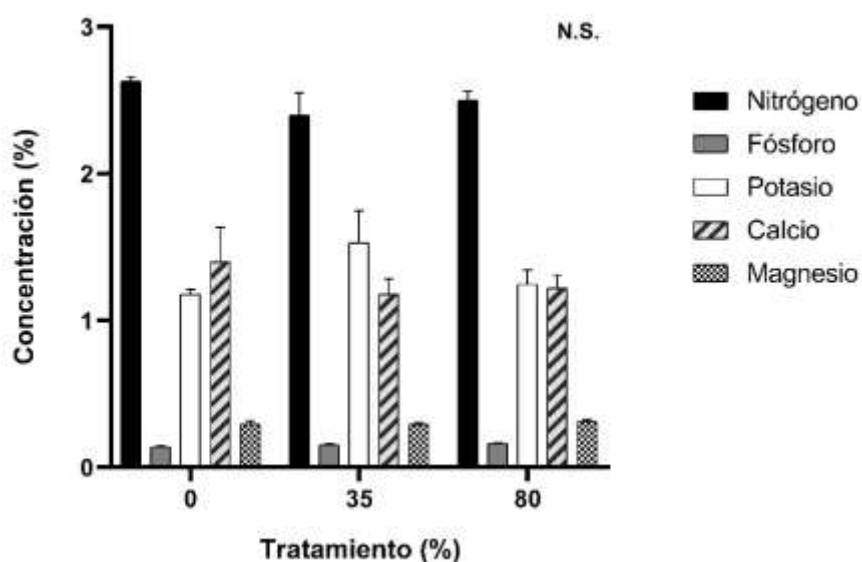


**Figura 16.** Estomas en el envés de la hoja de cacao CCN-51. **A.** Impronta de tratamiento de 0 % de sombra (T1); **B.** Impronta de tratamiento de 35 % de sombra (T2); **C.** Impronta de tratamiento de 80 % de sombra (T3)



### 6.2.3 Análisis de tejidos

Tras analizar la concentración (%) de los elementos: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg); presente en los tejidos de hojas de cacao a los 191 DDT, no se encontró diferencias significativas ( $p > 0,05$ ), por lo que no existe un efecto de la sombra sobre la concentración de elementos en los tejidos (Figura 17).



**Figura 17.** Concentración en porcentaje de elementos en los tejidos en el cacao CCN-51 influenciado por tres niveles de sombra. N.S. Barras verticales representan el error estándar.

### 6.2.4 Análisis de pH y conductividad eléctrica (CE) del suelo

En lo que se refiere a pH (Figura 18) no se encontraron diferencias significativas ( $p = 0,8869$ ;  $p > 0,05$ ), partiendo desde un pH de 5,53 (Análisis inicial – Anexo 1) y terminando en pH de 5 a 5,5; de la misma manera, la CE (Figura 19), tampoco presento diferencias significativas ( $p = 0,4028$ ;  $p > 0,05$ ), por lo que se puede asegurar que el efecto único de la sombra no altera el pH ni CE del suelo.

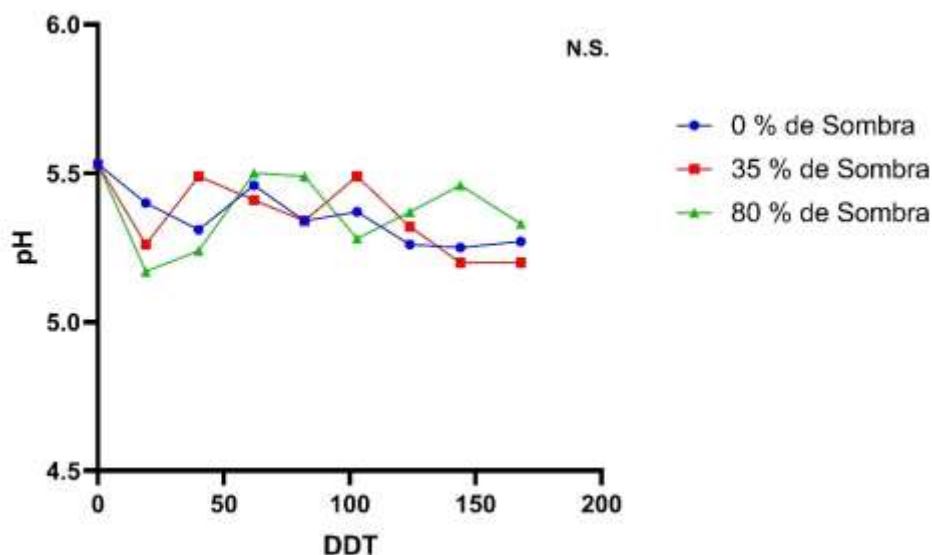


Figura 18. pH del suelo influenciado por tres niveles de sombra en el cultivo de cacao CCN-51. N.S.

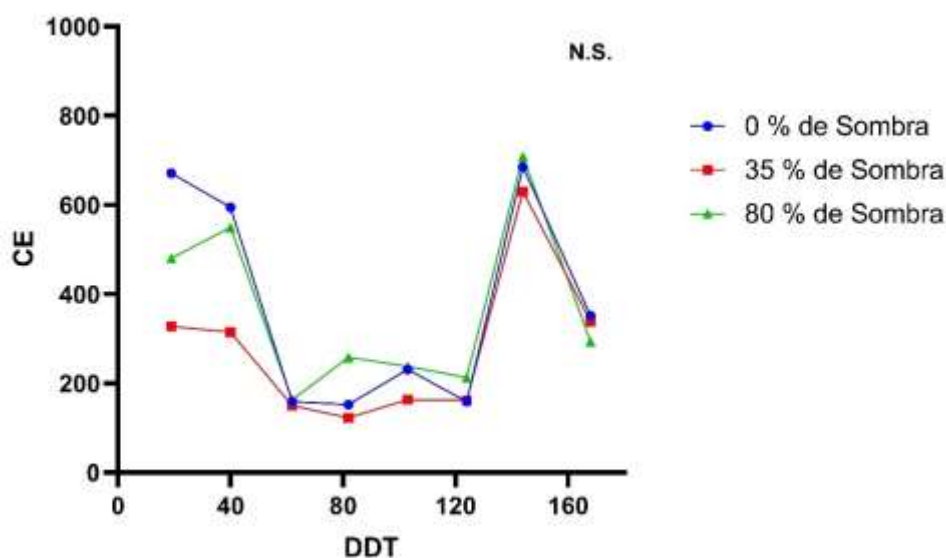


Figura 19. Conductividad eléctrica (CE) del suelo influenciado por tres niveles de sombra en el cultivo de cacao CCN-51. N.S.

### 6.3 Correlaciones

En la Tabla 7, se encuentran las correlaciones entre las variables, podemos destacar aquellas correlaciones positivas de carácter muy significativas: Altura – ASTT ( $r = 0,8734$ ) y una correlación perfecta positiva entre: TCA – Incremento y AF – IAF; tanto de altura como de longitud de brote, por otro lado, las correlaciones negativas que se encontraron fueron entre Longitud de brote – Longitud metámero, con un  $r = - 0,12$ ; además, la densidad estomática presenta una correlación negativa con la longitud de hoja ( $r = - 0,52$ ), a razón de que mientras aumenta la longitud de hoja, disminuye la densidad de estomas.

**Tabla 7.** Correlaciones entre variables morfológicas y fisiológicas.

<b>Variable 1</b>	<b>Variable 2</b>	<b>Coefficiente de correlación de Pearson (r)</b>	<b>p – valor</b>
<b>Altura</b>	ASTT	0,8734	<0,001
	AF	0,4795	0,03
	IAF	0,4792	0,03
	Longitud de brote	0,3051	0,26
	TCA altura	0,8007	<0,001
	Incremento de altura	0,8007	<0,001
<b>TCA altura</b>	Incremento altura	1	0
<b>ASTT</b>	AF	0,69	<0,001
	IAF	0,69	<0,001
	Longitud de brote	0,1674	0,55
	TCA altura	0,7686	<0,001
	Incremento de altura	0,7686	<0,001
<b>Longitud de brote</b>	AF	0,1131	0,68
	IAF	0,1135	0,68
	Número de metámeros	0,7058	0,004
	Longitud de metámero	-0,1213	0,67
	TCA brote	0,7152	0,004
	Incremento brote	0,7152	0,004
<b>TCA brote</b>	Incremento brote	1	0
<b>AF</b>	IAF	1	0
<b>Densidad Estomática</b>	Long. Hoja	-0,520	0,04
<b>Clorofila total</b>	Longitud de hojas	-0,08	0,84
	AF	-0,17	0,59
	Densidad Estomática	-0,06	0,91

\* Los valores representados están descritos por un análisis de correlación de Pearson

## 7. DISCUSIÓN

A los 168 DDT, las plantas sometidas a los tres niveles de sombra, no mostraron diferencias significativas para los parámetros morfológicos, estos fueron: altura, ASTT, longitud de brote, longitud y número de metámeros, TCA y AF e IAF.

En cuanto a la altura de planta, no se evidenciaron diferencias en los tres tratamientos (T1: 0 %, T2: 35 % y T3: 80 % de sombra) (Figura 4) aunque, cabe mencionar que, el T1 presentó una altura ligeramente superior a los T2 y T3, presumiblemente por una mayor altura inicial de las plantas (Tabla 1). No obstante la similitud de las alturas entre los tratamientos puede deberse a que las plantas de un mismo clon, en este caso el CCN-51, presentan poca variabilidad entre sus características, además, la morfología propia de este clon, corresponde a una planta de crecimiento erecto, pero de baja altura (cuatro a seis metros), lo cual es una característica deseable para este cultivo ya que facilita las labores agronómicas y abarata los costos de mantenimiento del cultivo (Vélez, 2018; García, 2020), aunque, Carrión (2012) afirma que las plantas pueden llegar a medir hasta 20 metros, si se las deja crecer libremente bajo sombra intensa.

Dentro de este marco, plantas de CCN-51, muestran primero un crecimiento no ramificado hasta una altura de uno a dos metros (en este ensayo presentaron alturas de 0,76 m, 0,64 m y 0,60 m para T1, T2 y T3 respectivamente – Tabla 1) antes de que la primera ramificación tome lugar, en la etapa vegetativa temprana (Dostert *et al.*, 2011). Además, Pérez y Freile (2017), exponen que los diferentes clones de cacao expresan sus potencialidades fisiológicas de acuerdo al clima, luz y humedad; haciendo referencia a que el clon CCN-51 es propio para cultivos en la costa ecuatoriana, donde las condiciones son diferentes a la zona amazónica.

En tal contexto, la temperatura óptima para el cacao según Dostert *et al.*, (2011), es de 27 °C para su correcto crecimiento y desarrollo; a esto, se suma lo expuesto por García (2020), el cual propone un rango de 25,5 a 27 °C para un desarrollo óptimo del cultivo. Por consiguiente, apoyamos lo expuesto por Pérez y Freile (2017), pues el principal factor que pudo afectar el crecimiento del clon de cacao CCN-51 fue el clima, al presentar un promedio de 22,7 °C en la zona donde se desarrolló la investigación, no se llegó a la base del rango de temperaturas óptimas para este cultivo (25,5 °C).

De la misma manera, en lo que respecta a la longitud del brote, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, con la peculiaridad de que el T2 y T3 (35 % y 80 % de sombra) fueron ligeramente mayores al T1 (0 % de sombra) (Figura 9). En consecuencia, Dubón

(2011), asegura que en las plantas de cacao existe un marcado dimorfismo de crecimiento en las ramas, es decir; en primer lugar, presentan un crecimiento vertical (ortotrópico) y constituye a este, el tallo y los chupones en la etapa vegetativa temprana, seguido del crecimiento de las ramas verticiladas hacia los lados (crecimiento plagiotrópico).

Por lo anterior, los resultados muestran que la elongación de los brotes está relacionada con las condiciones climáticas bajo las que se desarrolla el cultivo, ya que el crecimiento del árbol de cacao es mayor durante los meses más cálidos del año, que también traen mayor luminosidad (Martínez y Enríquez, 1981). Al no observarse un efecto de la sombra sobre la longitud de los brotes, estos están condicionados a alargarse tanto como se los permita otras condiciones como: temperatura, precipitación y las características genéticas propias de la especie (Ferrás *et al.*, 2017); de la misma manera, el número de metámeros de los brotes está condicionado a los factores climáticos antes mencionados, ya que no existió un efecto de la sombra (Tabla 3), en consecuencia, expresamos que la formación de las hojas se produce en ritmos denominados “flush” en los que las ramas producen de tres a seis pares de hojas, después de lo cual la yema permanece latente durante un periodo hasta que se produce un nuevo “flush”, estos periodos ocurren de entre seis a ocho semanas, dependiendo de las condiciones climáticas y variedades (van Vliet y Giller, 2017).

Sin embargo, Pérez y Freile (2017) manifiestan que el cacao posee diversidad de cultivares que pueden manifestarse de forma diferente en sectores con variaciones y fluctuaciones de las variables climáticas. Aunque, por la complejidad de factores internos y externos, es muy difícil estimar la influencia del ambiente sobre el crecimiento del cacao (Amores *et al.*, 2009).

Las plantas en estado vegetativo temprano, no solo muestran un crecimiento longitudinal debido a los meristemas apicales, sino también, presentan un crecimiento diametral o secundario, razón por la cual la altura de la planta y el ASTT muestran una correlación positiva ( $r = 0,8734$  – Tabla 7); en consecuencia, y al no encontrarse ningún efecto de la sombra sobre la altura de la planta, el ASTT tampoco mostró diferencias significativas bajo ninguno de los tratamientos (Figura 7 y 8); y sus valores iniciales y finales se deben posiblemente, al crecimiento y desarrollo natural de la planta de cacao (Gil-Restrepo *et al.*, 2017).

Estas consideraciones sobre el ASTT son abordadas y apoyadas en los estudios de Pérez y Freile (2017) donde se encontraron resultados equivalentes, pues aseguran que, además de la altura relativamente pequeña del clon CCN-51, no es posible evidenciar un crecimiento tradicional de este clon en la amazonia, puesto que como se mencionó anteriormente y al no

presentar la sombra influencia alguna sobre las variables, el crecimiento está condicionado a las condiciones de clima, precipitación y humedad del sector; estas condiciones permiten inferir que los clones propios de la amazonia deben expresar toda su potencialidad en esta región, a diferencia del clon CCN-51, cuyas características se expresan de mejor manera para la costa ecuatoriana, que fue la principal zona bajo la que se adaptó este clon en el año de su liberación (1965) (Escobar, 2008; ANECACAO, 2015 b.).

La TCA, tanto de altura como longitud de brote, no exhibieron influencia alguna por la sombra bajo ningún tratamiento (Figura 11), es importante mencionar que la TCA tanto de altura como de longitud de brote mantuvieron una tendencia positiva y constante durante los 168 días del tratamiento, aspectos a considerar fueron que la TCA del T1 en altura fue relativamente mayor a las TCA de los T2 y T3, por su parte la TCA de longitud de brote del T2 y T3 fueron imperceptiblemente mayores a la TCA de T1; de esta manera incluimos lo expresado por Lambers *et al.* (2008), que asegura que la TCA es importante para establecer actividades tendientes a incrementar cantidades de biomasa que están ligadas al grosor del tallo, altura o estructuras vegetales referidas con el largo del brote. Esto es coincidente con los resultados expresados hasta el momento, ya que no se observaron diferencias entre altura, longitud de brote, número de metámeros y ASTT, además apoyamos dicho argumento pues las TCA se mantuvieron constantes al igual que la altura y longitud del brote, que mostraron dinámicas de crecimiento parecidas en los tres tratamientos (Figura 4 y 9).

El AF, de los tres tratamientos no presentó diferencias significativas, no obstante, es pertinente mencionar que el AF de T1 y T3 fueron ligeramente menores a el AF del T2 (Figura 13), y esta misma tendencia se presentó en el IAF, donde se obtuvo un IAF ligeramente mayor en el T2, en comparación al T1 y T3 (Figura 14), en general no hubo un efecto de la sombra sobre el AF e IAF, no obstante, la similitud de el AF e IAF de los T1 y T3, es debido a que las hojas del T1 fueron más pequeñas en comparación al T3, en contraste, el número de hojas del T3 fue menor al número de hojas del T1, en consecuencia el mayor número de hojas en el T1 compensó el largo de las hojas encontrado en el T3 (Tabla 4); es importante mencionar que por estas relaciones entre el AF y el IAF se presentó una correlación perfecta positiva ( $r = 1$ ).

Estos resultados son comparables con los obtenidos por Abou Rajab *et al.*, (2016) donde la biomasa aérea aumentó más de cinco veces en los monocultivos y más de treinta veces en plantaciones bajo un sistema de asocio Cacao – *Gliricidia* y Cacao – Multisistemas. En relación con nuestros resultados, los encontrados por Abou Rajab *et al.*, (2016), muestran un aumento

en la cantidad y en el tamaño de las hojas en un nivel de sombra intermedia (Cacao - *Gliricidia*) y sombra alta (Cacao - Multisistemas), en comparación a un monocultivo (exposición a plena luz).

A esto se suma lo expuesto por Suárez *et al.* (2018), en un estudio donde las plantas de cacao exhibieron la mayor eficiencia fotosintética en los sistemas agroforestales de mayor radiación, el cual fue el doble del sistema agroforestal de baja radiación y superior al sistema agroforestal de radiación media, por otro lado, las hojas de las plantas de cacao en el sistema con la menor cantidad de radiación exhibieron los valores más altos de intercepción de luz, debido a la cantidad de hojas en el dosel del árbol.

En el mismo trabajo, Suárez *et al.* (2018) expone, que en contraste con la suposición de que las plantas de cacao crecen mejor bajo condiciones de sombra, se mostró que exhiben una aclimatación óptima a condiciones de radiación solar relativamente alta; no obstante, en este estudio y en el presente trabajo investigativo, es probable que el rendimiento fisiológico óptimo de las plantas bajo una alta radiación haya sido influenciado por una alta nubosidad, típica de la amazonía (IDEAM, 2018 y Climate-Data, 2019); no obstante, se muestran evidencias de que las plantas de cacao muestran gran capacidad para aclimatarse a altas radiaciones solares.

En suma, si bien la sombra no afectó en el AF e IAF de los tratamientos, se observó que sí afectó a la longitud de las hojas (Tabla 4), en consecuencia, a plena luz del sol las hojas de cacao se desarrollan de manera diferente que cuando están en la sombra; las hojas sombreadas suelen tener una mayor superficie que las hojas a plena luz; además, en pleno sol, la transpiración excesiva puede causar estrés hídrico, lo cual puede explicar la reducción de la expansión foliar, aunque en forma antagónica, las hojas sombreadas pueden presentar mayor contenido de clorofila como efecto para tratar de incrementar la fotosíntesis, y las hojas en pleno sol, envejecen y mueren más rápido como resultado del aumento de temperatura y la transpiración excesiva (Gerritsma, 1995; Almeida y Valle, 2007).

Los resultados que mostraron un efecto de la sombra sobre parámetros fisiológicos fueron aquellos relacionados con concentración de clorofila y densidad estomática; en contraposición del análisis de tejidos, pH y CE que no presentaron diferencias significativas por efecto de la sombra.

Dentro de lo que tiene que ver con la concentración de clorofila, a los 176 DDT, se observó un efecto de la sombra sobre esta variable, es de esta manera que se encontró que, en el T3, la clorofila tanto A, B y total fue mayor que en el T2; sin embargo, se exhibió la peculiaridad que,

el T1, no tuvo diferencias significativas con respecto a T2 y T3 (Tabla 5). La presencia de un contenido mayor en el tratamiento de mayor sombreado se asemeja a los resultados obtenidos por Héctor *et al.* (2018), en donde las hojas de ocho clones de cacao bajo la sombra de árboles de *Guaba sp.* presentaron las medias más altas en el contenido de clorofila total. De esta manera, asumimos que la poca disponibilidad de la luz induce a las células de las hojas a un incremento de la clorofila a fin de aumentar la capacidad de aprovechamiento de la luz y optimizar la fotosíntesis (Almeida y Valle, 2007; Encalada, 2017).

En este marco, es correcto indicar que la sombra regula la actividad fotosintética de las hojas, al mismo tiempo incrementa la producción de clorofila y captadores de luz, por lo que es aceptable considerar que este aspecto aumentará la tasa fotosintética neta de estas plantas bajo sombra (Agudelo *et al.*, 2018); No obstante, los resultados del T2 y T3, permitieron evidenciar una variabilidad para este parámetro; esto es apoyado por Tezera *et al.* (2015), que afirma que los clones de cacao poseen alta plasticidad fisiológica aun cuando crecen en condiciones lumínicas diferentes; por ello, Jaimez *et al.* (2018) en sus estudios expone que, los resultados de mayor fotosíntesis neta y cantidad de clorofila, fueron los expuestos a una alta intensidad de luz, además el clon CCN-51 no presentó fotoinhibición; por lo que se presume que este clon es tolerante a la sombra y a alta exposición solar, ajustando sus niveles de concentración de clorofila.

En adición, autores como Tian *et al.* (2016) indican que, la maduración de los estomas se correlaciona con la presencia de clorofila en la hoja, pues como menciona Jaimez *et al.* (2018) los valores más altos de intercambio de gases (mayor presencia de estomas), dan lugar a una mayor disponibilidad de CO<sub>2</sub> para la carboxilación por parte de RUBISCO durante el ciclo de Calvin, y por tanto, una mayor producción de fotosíntesis neta e hidratos de carbono.

En tal contexto, la densidad estomática a los 176 DDT en el clon de cacao CCN-51, se vio afectada por la sombra; pues el T1 (plena luz) presentó una cantidad superior de estomas (1215,78 estomas mm<sup>-2</sup>) que los T2 y T3 (Tabla 6); en adición, se presentaron rangos de estomas de 919 a 1215 estomas mm<sup>-2</sup>, estos rangos promedio son claramente superiores a los reportados por Zambrano (2017), quien encontró promedios de 877,50 estomas mm<sup>-2</sup>, en el mismo clon en Quevedo – Ecuador, región costa; estas diferencias entre la densidad estomática de un mismo clon (CCN-51) en diferentes regiones (costa en trabajos de Zambrano, 2017 y Amazonía en la presente investigación), puede deberse a que ésta varía bajo diferentes condiciones ambientales, por lo que puede diferir entre plantas de la misma especie, entre hojas de la misma planta e



incluso entre sectores de la misma hoja (Tian *et al.*, 2016). No obstante, los resultados son concordantes con otras investigaciones en especies tropicales y amazónicas, donde los estomas por milímetro cuadrado son mayores en tratamientos expuestos a pleno sol, mostrando una relación positiva entre estas dos variables (Nughes *et al.*, 2013, Naizaque *et al.*, 2014, Tian *et al.*, 2016; Encalada, 2017).

Este aumento de la densidad estomática estaría dado por una correlación inversa en la cantidad de estomas  $\text{mm}^{-2}$  y la superficie de la hoja (en esta investigación se asocia con largo de la hoja, pues es la variable utilizada para determinar el AF (Figura 12) y presentó una correlación de  $r = -0,52$  (Tabla 7)), esta modificación en la anatomía de la hoja explica que frente a los tratamientos de luz, no se altera el número de estomas por hoja y que responde a un mayor agrupamiento en las hojas expuestas bajo una mayor intensidad de luz debido a que las mismas presentan una menor superficie foliar (Tian *et al.*, 2016; Encalada, 2017).

En suma, y como indica Jaimez *et al.* (2018), la regulación estomática, depende de la respuesta de cada clon o híbrido a las condiciones ambientales en las que se desarrolla; en adición, en sus estudios encontró que, al haber un intercambio de gases a una alta radiación solar, aumenta en un 35 % la tasa de fotosíntesis neta, lo que puede explicar el contenido de clorofila del T1, ya que su densidad estomática también fue mayor que los tratamientos T2 y T3.

En relación con otras variables fisiológicas, como el contenido de nutrientes en las hojas, no se encontraron diferencias significativas en ninguno de los elementos analizados (nitrógeno, N; fósforo, P; potasio, K; calcio, Ca y magnesio, Mg), sin embargo, se puede apreciar que el orden descendente de concentración en forma general en los tres tratamientos es  $N > K > Ca > Mg > P$  (Figura 17). Estos resultados son iguales a los encontrados por Leiva y Ramírez (2017), que registraron un orden descendente de concentración igual a:  $N \geq K \geq Ca > Mg > P > S$ , además, de ser concordantes a los reportados por Paramo (2014), que presentó mayores concentraciones de N y K. Por lo expuesto, se puede asegurar que el N es el elemento de mayor concentración en las hojas del clon CCN-51 con un rango de dos a tres por ciento; sin embargo según los rangos presentados por Sondré (2002), la concentración de N en el clon CCN-51 es bajo, esto fue ratificado por el mismo autor dos años después, donde indica, que el clon CCN-51, presenta una mayor eficiencia nutricional, por lo que no necesitaría cantidades grandes de fertilizantes para obtener mayores rendimientos (Paramo, 2016).

Apoyamos ese punto, debido a que, en el presente trabajo, se evaluó el efecto único de la sombra sobre las plantas del clon CCN-51, por tal motivo, no se contó con un plan de fertilización y por ende las plantas no tuvieron más nutrientes que asimilar que los disponibles en el análisis del suelo al inicio del proyecto (Anexo 1), lo que luego de 168 DDT, se tradujo en bajos contenidos de nutrientes en las hojas.

Con respecto al pH, no se mostraron diferencias entre los tratamientos, y, aunque el pH inicial fue de 5,53, (Anexo 1), el pH final se ubicó entre 5 a 5,5 (Figura 18), valores que se encuentran dentro de los propuestos por Dostert *et al.* (2011), pues expresa que las plantas de cacao toleran un pH de 5,0 a 7,5; fuera de estos rangos se deben realizar correcciones al suelo antes de implementar este cultivo; la variabilidad en los valores de pH son apoyados por Sánchez *et al.* (2003), indicando, que los valores de pH varían en cada uno de los momentos de evaluación por el contenido de sales, actividad biológica del suelo y épocas secas o de invierno. Cabe recalcar, que el rango de pH observado, es el adecuado para la alta asimilación de nutrientes por parte del clon CCN-51 (Rosas, 2018).

La CE no se vio afectada por la sombra (Figura 19), sin embargo, se pudo observar que, a partir de los 62 DDT, las diferencias entre los tres tratamientos empezaron a disminuir hasta los 124 DDT donde presentaron un alza en los valores de CE y se redujo a casi nula las diferencias. La variabilidad en la CE, está sujeta a varias condiciones, presencia de MO, cationes como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  o  $\text{H}^+$  que elevan la CE (Patrick, 1985); en el caso particular de este trabajo, el alto contenido de MO (Anexo 1), permitió un incremento en la CE y en el mantenimiento de un estable rango de pH.

## 8. CONCLUSIONES

- La sombra no influye directamente en aspectos morfológicos como: el crecimiento de tallos y ramas, así como en la producción de hojas y brotes en la etapa vegetativa temprana del cacao clon CCN-51.
- Las variables fisiológicas implicadas en los procesos fotosintéticos de la planta que fueron afectadas son: de forma parcial, AF e IAF y de forma directa la longitud de las hojas, concentración de clorofila y densidad estomática; siendo los tratamientos de sombra los de mayor longitud de hojas; T3 y T1 mayor cantidad de clorofila A, B y total y el T1 con mayor densidad de estomas.
- Por la acción de la sombra sobre variables fisiológicas, podemos concluir que el mantener un sombreado leve (35 % de sombra), aumentará la longitud de las hojas, la concentración de clorofila y mantendrá una buena densidad estomática, al encontrar un punto intermedio entre las características de un 80 % de sombra y a pleno sol, que se presentaron en este trabajo.
- El clon CCN-51, se adapta aceptablemente a las condiciones del clima amazónico, en condiciones de plena luz, sombra media y/o intensa, siendo el clima el factor que influye en la morfología y crecimiento inicial de las plantas. Aunque, una sombra intermedia ayudaría en la constitución de aspectos fisiológicos como concentración de clorofila y/o densidad estomática.

## **9. RECOMENDACIONES**

- Al evaluar solamente el efecto de la sombra sobre el clon CCN-51, aún quedan interrogantes por resolver en cuanto a fertilización y la interacción de estos factores en el desarrollo morfo – fisiológico de las plantas, por lo que es recomendable aumentar este factor y continuar con los ensayos de campo para un vistazo más completo de la eficiencia de la sombra sobre este clon en esta región.
- Ampliar el tiempo de evaluación y seguir la fenología del cultivo, para determinar de manera exacta los periodos apropiados y críticos del establecimiento de sombra sobre este clon y el impacto de este factor sobre el rendimiento del cultivo.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Abou Rajab, Y., Leuschner, C., Barus, H., Tjoa, A., y Hertel, D. (2016). Cacao cultivation under diverse shade tree cover allows high carbon storage and sequestration without yield losses. *PloS one*, 11(2), e0149949.
- Agudelo, G., Cadena, J., Almanza, P., y Pinzón, E. (2018). «Desempeño fisiológico de nueve genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo la sombra de tres especies forestales en Santander, Colombia.» *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 12 (1): 223-32. <http://dx.doi.org/10.17584/rch.2018v12i1.7341>.
- Almeida, A., y Valle, R. (2007) Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19, pp. 425-448.
- Amores, F., Palacios, A., Jiménez, J., y Zhang, Z. (2009). Entorno ambiental, genética, atributos de calidad y singularización del cacao en el nor oriente de la provincia de Esmeraldas. Estación Experimental Tropical Pichilingue, INIAP. Quevedo, Boletín técnico N° 135. EC. pp 1 – 7, 10 – 11
- ANECACAO. (2015) a.. Historia del Cacao. agosto 04,2020, de Asociación Nacional de Exportadores de Cacao – Ecuador Sitio web: <http://www.anecacao.com/es/quienes-somos/historia-del-cacao.html>
- ANECACAO. (2015) b.. Cacao Nacional - Cacao de Exportación - CCN - 51. agosto 05, 2020, de Asociación Nacional de Exportadores de Cacao – Ecuador Sitio web: <http://www.anecacao.com/index.php/es/quienes-somos/cacao-nacional.html>
- Baligar, V., Bunce, J., Machado, R., y Elson, M. (2008). Photosynthetic photon flux density, carbon dioxide concentration, and vapor pressure deficit effects on photosynthesis in cacao seedlings. *Photosynthetica*, 46(2), 216-221.
- Barrientos, A., Borys, M., Trejo, C., y López, L. (2003). Índice y densidad estomática foliar en plántulas de tres razas de aguacatero. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(4), 285–290.
- Carrión Santos, J. A. (2012). Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad CCN-51, Jama-Manabí (Bachelor's thesis, Quito, 2012).
- Castro, C. (2015). Evaluación de la Fenología Reproductiva y Dinámica de Producción del Cultivo de Cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN–51, en el Distrito de Irazola.

- Climate-Data. (2019). YANTZAZA CLIMA (ECUADOR). julio 23, 2020, de Climate-Data.org Sitio web: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-zamora-chinchipec/yantzaza-25493/>
- Crouzillat, D., Bellanger, L., Rigoreau, M., Bucheli, P., y Pétiard, V. (2000). Genetic structure, characterisation and selection of Nacional cocoa compared to other genetic groups. In international workshop on new technologies and cocoa breeding. p. 30.
- De Almeida, J., Herrera, A., y Tezara, W. (2019). Phenotypic plasticity to photon flux density of physiological, anatomical and growth traits in a modern Criollo cocoa clone. *Physiologia plantarum*, 166(3), 821-832. DOI: <https://doi.org/10.1111/ppl.12840>
- Dostert, N., Roque, J. Cano, A., La Torre, M., y Weigend, M. (2011). Factsheet: Datos botánicos de cacao *Theobroma cacao* L.. agosto 04, 2020, de PromPerú Sitio web: [http://repositorio.promperu.gob.pe/bitstream/handle/123456789/1051/Factsheet\\_datos\\_botanicos\\_cacao\\_2011\\_keyword\\_principal.pdf?sequence=1](http://repositorio.promperu.gob.pe/bitstream/handle/123456789/1051/Factsheet_datos_botanicos_cacao_2011_keyword_principal.pdf?sequence=1)
- Dubón, A. (2011). Manual de producción de cacao. Lima, Cortés, HN. FHIA. 208 p.
- Encalada, M. (2017). Efecto de la luz solar y tres fechas de siembra en el desarrollo de posturas de cafeto (*Coffea arábica* L. cv. Caturra) en la Zona Sur de Ecuador. Editorial Universitaria.
- Enríquez, G.. (2010). Cacao Orgánico - Guía para Productores Ecuatorianos. Quito Ecuador: E.d.: INIAP - Estación Pichilingue.
- Escobar, R. (2008). Comportamiento de seis clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Guasaganda, provincia de Cotopaxi, Ecuador. *Revista La Granja*, 7 (1): 9-12, 2008.
- Espinoza, J.. (2021). Efecto de dos niveles de sombra y nutrición sobre el crecimiento y desarrollo vegetativo en cacao (*Theobroma cacao* L.) clon ccn51 en la provincia de Zamora Chinchipe. mayo 04, 2021, de Universidad Nacional de Loja Sitio web: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23934/1/Jorge%20Geovanny%20Espinosa%20Masa.pdf>
- Ferrás, Y., Márquez, J. J., Aguirre, M. B., Bustamante, C. A., y González, C. (2017). Influencia de las temperaturas y precipitaciones en el desarrollo de índices morfológicos del cacao en Jibacoa1. *Café Cacao*, 16(1), 15-21.

- García García, L. A. (2020). Caracterización morfológica en las zonas de producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) tipo Nacional en el cantón Babahoyo provincia de Los Ríos, Ecuador (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB, 2020).
- García, J. (1973) Estudo de alguns índices de crescimento e produtividade para seleção juvenil em híbridos de cacau. Turrialba, IICA, M.Sc. dissertation.
- Gerritsma, W. (1995) Physiological aspects of cocoa agronomy and its modelling. Wageningen University, Wageningen.
- Gil-Restrepo, J., Leiva, E., y Ramírez, R. (2017). Phenology of cacao tree in a tropical moistforest. Científica 45 (3): 240-52. <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2017v45n3p240-252>.
- Héctor, E., Torres, A., Fosado, O., Ávala, J., Sancán, G., y León, R. (2018). «Contenido de clorofilas totales en doce clones de cacao (*Theobroma cacao* L.)». Revista de las Agrociencias. La Técnica, n.o20: 11-18.
- IDEAM. (2018). Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. Atlas Climatológico de Colombia. IDEAM, Bogotá, DC 2018. 219 p.
- INEC. (2020). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2019. julio 8, 2020, de Instituto Nacional de Estadísticas y Censos Sitio web: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac-2019/Presentacion%20de%20los%20principales%20resultados%20ESPAC%202019.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2019/Presentacion%20de%20los%20principales%20resultados%20ESPAC%202019.pdf)
- INIAP. (2018) a.. INIAP - EETP-800 e INIAP - EETP-801 Nuevos Clones de Cacao Fino y de ARoma con Alto Rendimiento. agosto 05, 2020, de Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias Sitio web: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5240>
- INIAP. (2018) b.. EETP - 800. agosto 05, 2020, de Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias Sitio web: <http://tecnologia.iniap.gob.ec/images/rubros/contenido/cacao/8001.pdf>

- INIAP. (2018) c.. EETP - 801. agosto 05, 2020, de Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias Sitio web: <http://tecnologia.iniap.gob.ec/images/rubros/contenido/cacao/8011.pdf>
- INIAP. (2019). La Cadena de Valor del Cacao en América Latina y El Caribe. Quito, Ecuador: INIAP - Ed. pp. 49 - 62
- Jaimez, R., Amores, F., Vasco, A., Loor, R., Tarqui, O., Quijano, G., Jimenez, J., y Tezara, W., (2018). Photosynthetic response to low and high light of cacao growing without shade in an area of low evaporative demand. *Acta biol. Colomb.*23(1):95-103. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v23n1.64962>
- Jaimez, R., Tezara, W., Coronel, I., y Urich, R. (2008). Ecofisiología del cacao (*Theobroma cacao*): su manejo en el sistema agroforestal. Sugerencias para su mejoramiento en Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 52(2), pp. 253-258.
- Lambers, H., Raven, JA, Shaver, GR y Smith, SE (2008). Las estrategias de adquisición de nutrientes de las plantas cambian con la edad del suelo. *Tendencias en ecología y evolución*, 23 (2), 95-103.
- Leiva, E. y Ramírez, R. . (2017). Acumulación y extracción de nutrientes en el cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.). mayo 22, 2021, de International Symposium on Cocoa Research (ISCR) Sitio web: <https://www.icco.org/wp-content/uploads/T2.55.ACUMULACION-Y-EXTRACCION-DE-NUTRIENTES-EN-EL-CULTIVO-DEL-CACAO-Theobroma-cacao-L..pdf>
- Mackinney, G. (1941). Absorption of Light by Chlorophyll. *Journal Biology Chemistry*, 140, 315 – 323.
- MAGAP. (2012). Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, Buenas Prácticas Agrícolas para Cacao. Ecuador. p. 66
- Martínez, A. y Enríquez, G.. (1981). La Sombra Para El Cacao. mayo 21, 2021, de SIDALC Sitio web: <http://www.sidalc.net/REPDOC/A4372E/A4372E.PDF>
- Naizaque, J., García, G., Fischer, G., y Melgarejo, L. (2014). Relación entre la densidad estomática, la transpiración y las condiciones ambientales en feijoa (*Acca sellowiana* [O.BERG] BURRET) *Revista de U.D.C.A.* vol. 17, no. 1, pp. 115-121, ISSN: 0123-4226.



- Nughes, L., Colares, M., Hernández, M. y Arambarril, A. (2013). Morfo-anatomía de las hojas de *Celtis ehrenbergiana* (celtidaceae) desarrolladas bajo condiciones naturales de sol y sombra. *Bonplandia*, vol. 22, no.2, pp. 159-170, ISSN: 0524-0476.
- Rosas Patiño, G. (2018). Cambios en el PH del suelo y su relación con el uso eficiente de nutrientes en clones de cacao (*Theobroma cacao* L.). Doctorado en Ciencias Agrarias.
- Paramo, Y. J. P., Flores, J. C. M., J. C., y Hernandez, F. A. (2016). Concentración de nutrientes en hojas, una herramienta para el diagnóstico nutricional en cacao. *Agronomía Mesoamericana*, 27(2), 329-336.
- Paramo, Y. J. P., Flores, J. C. M., Carabali, A. G., y Hernandez, F. A. (2014). Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento. *Acta Agronómica*, 63(2), 145-152.
- Paredes, N. (2009). Manual de cultivo de cacao para la amazonia ecuatoriana. Manual N° 76. Estación Experimental Tropical Pichilingue, INIAP. Quevedo, Ec. p. 6
- Patrick, F. (1985). Suelos en formación, clasificación y distribución. Editorial Continental S. A.
- Pérez Garcia, G. A., y Freile Almeida, J. A. (2017). Adaptabilidad de clones promisorios de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.), en el cantón Arosemena Tola de Ecuador. *Centro Agrícola*, 44(2), 44-51.
- Rodés, G., y Collazo, O. (2006). Manual de prácticas de fotosíntesis. Primera ed. México. Universidad Autónoma de Mexico. 7 p
- Sánchez, R., Palma, D., Obrador, J., y López, U. (2003). Efectos de los rastrojos sobre las propiedades físicas y químicas de un suelo vertisol y rendimientos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en Tabasco, México. *Interciencia* 28 (7): 404-407.
- Sodré, G. A. (2002). Uso do desvio padrão para estimativa do tamanho de amostra de plantas de cacau (*Theobroma cacao* L.) em estudos de nutrição. *Agrotropica* 13(3):145 - 150.
- Suárez, J., Melgarejo, L., Casanoves, F., Di Rienzo, J., DaMatta, F., y Armas, C. (2018). Photosynthesis limitations in cacao leaves under different agroforestry systems in the Colombian Amazon. *PLoS ONE* 13(11): e0206149. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206149>

- Tezera, W., De Almeida, J., Valencia, E., Cortes, J., y Bolaños, M.. (2015). Actividad fotoquímica de clones élites de cacao (*Theobroma cacao* L.) Ecuatoriano en el norte de la provincia esmeraldas. *Investigación y Saberes*, Vol. IV No 3, pp. 37 - 52.
- Tian, M., Yu, G., He, N., y Hou, J. (2016). Características morfológicas y anatómicas de las hojas de los bosques de coníferas tropicales a templados: mecanismos y factores que influyen. *Scientific Reports* 6: 1-10. <https://doi.org/10.1038/srep19703>.
- van Vliet, J. A., y Giller, K. E. (2017). Mineral nutrition of cocoa: a review. In *Advances in Agronomy* (Vol. 141, pp. 185-270). Academic Press.
- Vélez Ruiz, J. N. (2018). Evaluación de la respuesta de cacao CCN-51 a plena exposición solar a las aplicaciones de Azufre (S) y Magnesio (Mg) en la zona de Zapotal, Provincia de Los Ríos (Bachelor's thesis, Quevedo-UTEQ).
- Zambrano, J. (2017). Relaciones filogenéticas entre tipos de cacao (*Theobroma cacao* L.): forastero, trinitario y nacional, basadas en marcadores morfológicos y secuencias nucleotídicas de la región ITS; y su posible uso en la identificación de clones. Previo a la obtención de título de Ingeniero Agropecuario, Quevedo. Los Ríos. Ecuador: Universidad Técnica Estatal de Quevedo. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/2722/1/T-UTEQ-0088.pdf>

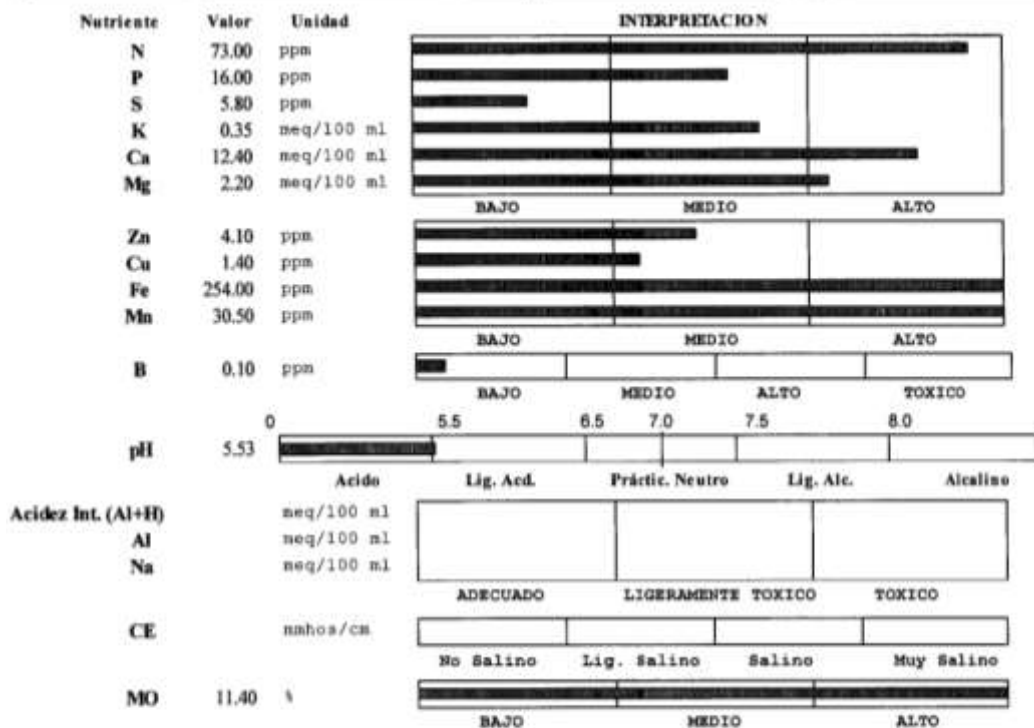
## 11. ANEXOS

### 11.1 Anexo 1. Análisis de suelo previo al establecimiento de los tratamientos

 <b>INIAP</b> <small>INSTITUTO NACIONAL ECUATORIANO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS</small>	<b>ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA"</b> <b>LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS</b> Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693	
---	---	---

#### REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

<p style="text-align: center;"><b>DATOS DEL PROPIETARIO</b></p> Nombre : Paola Daniela Godoy Dirección : Loja Ciudad : Teléfono : 0991255042 Fax :	<p style="text-align: center;"><b>DATOS DE LA PROPIEDAD</b></p> Nombre : Univercidad Tecnica De Loja Provincia : Loja Cantón : Parroquia : Ubicación :
<p style="text-align: center;"><b>DATOS DEL LOTE</b></p> Cultivo Actual : Cacao Cultivo Anterior : Descanso Fertilización Ant. : Superficie : Identificación : Muestra De Suelo	<p style="text-align: center;"><b>PARA USO DEL LABORATORIO</b></p> N° Reporte : 48.475 N° Muestra Lab. : 20-0498 Fecha de Muestreo : 10/01/2020 Fecha de Ingreso : 17/01/2020 Fecha de Salida : 29/01/2020



Ca	Mg	Ca+Mg	(meq/100ml)		ppm	(%)	
Mg	K	K	Σ Bases		Cl	Arena Limo Arcilla	Clase Textural
5,6	6,3	41,7	14,9			68 3 29	Franco Arcillo Arenoso

  
**RESPONSABLE LABORATORIO**

  
 DPTO. MANEJO DE SUELOS Y AGUAS  
 ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA  
 Panamericana Sur Km. 1  
 Quito Ecuador  
 Telefax 2690-694

  
**LABORATORISTA**

## 11.2 Anexo 2. Ecuaciones ajustadas de largo y ancho para AF de cacao clon CCN-51

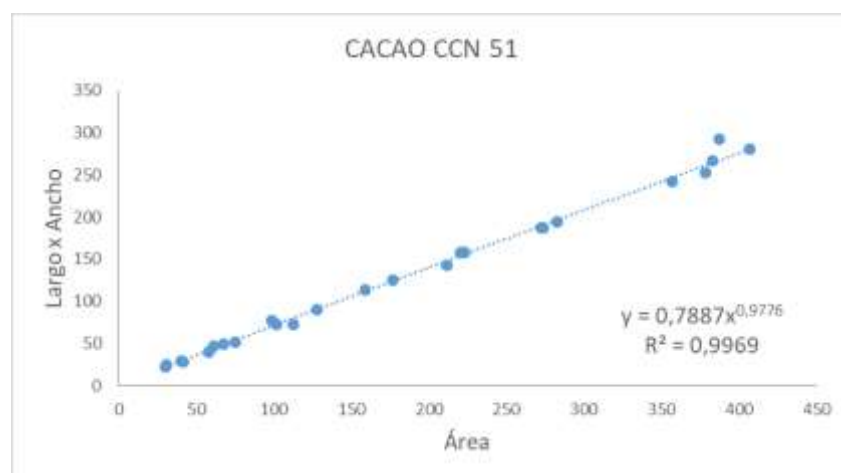


Figura 20. Área foliar descrita por la relación entre el largo y ancho de las hojas de cacao clon CCN-51.

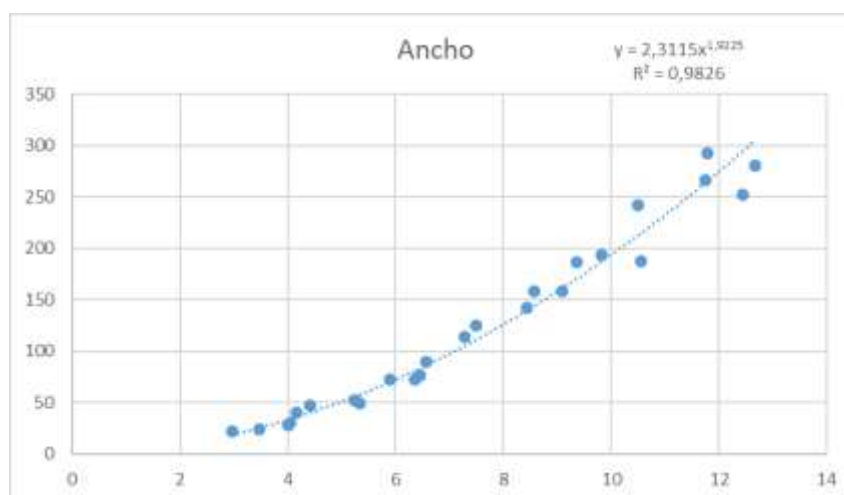


Figura 21. Ecuación ajustada con el ancho de la hoja para determinar el AF del cacao CCN-51.

## 11.3 Anexo 3. Tablas complementarias de resultados – Tasas de crecimiento relativas y absolutas

Tabla 8. Tasas de crecimiento relativo de la altura del cacao CCN-51, sometido a tres niveles de sombreo (T1: 0 %, T2: 35 % y T3: 80 %)

Trat. (% sombra)	Días después del tratamiento (DDT)								Promedio
	19	42	62	82	103	124	144	168	
0	0,0004	0,0010	0,0013	0,0018	0,0025	0,0029	0,0031	0,0032	0,0020
35	0,0004	0,0006	0,0008	0,0013	0,0016	0,0022	0,0024	0,0027	0,0015
80	0,0004	0,0010	0,0013	0,0017	0,0023	0,0031	0,0035	0,0038	0,0021

\* La tabla muestra los promedios de las tasas de crecimiento relativo de la altura del cacao CCN-51, tras un ANOVA al 95 % no se determinó diferencias significativas.

**Tabla 9.** Tasas de crecimiento relativo de la longitud del brote de cacao CCN-51 bajo tres niveles de sombra 0, 35 y 80 % (T1, T2 y T3 respectivamente).

Trat. (% sombra)	Días después del tratamiento (DDT)								Promedio
	19	42	62	82	103	124	144	168	
<b>0</b>	0,0047	0,0058	0,0081	0,0187	0,0267	0,0301	0,0321	0,0400	0,0208
<b>35</b>	0,0017	0,0023	0,0035	0,0085	0,0121	0,0168	0,0249	0,0291	0,0124
<b>80</b>	0,0015	0,0052	0,0066	0,0077	0,0174	0,0216	0,0253	0,0285	0,0142

\* La tabla muestra los promedios de las tasas de crecimiento relativo de la longitud del brote del cacao CCN-51, tras un ANOVA al 95 % no se determinó diferencias significativas.

#### 11.4 Anexo 4. Fotografía del experimento en campo



**Figura 22.** Planta de cacao clon CCN-51



**Figura 23.** Establecimiento de tratamientos.



**Figura 24.** Toma de datos en campo.



**Figura 25.** Colecta de muestras para análisis en laboratorios.