Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Agronomía

Evaluación de tres niveles de sombra, sobre el rendimiento en cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN51 en la provincia de Zamora Chinchipe, sector "El Padmi"

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del Título de Ingeniera Agrónoma

AUTORA:

Dayana Alexandra Cevallos Cuenca

DIRECTOR:

Ing. Johnny Fernando Granja. Mg.Sc

Loja – Ecuador

2023

Certificación

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
CARRERA DE AGRONOMÍA

Loja, 23 de septiembre del 2022

Ing. Johnny Fernando Granja Trávez Mg. Sc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Certifico:

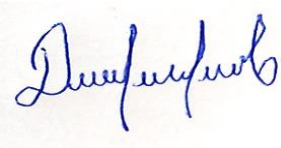
Que he revisado y orientado todo el proceso de la elaboración del trabajo de Integración Curricular denominado: **Evaluación de tres niveles de sombra, sobre el rendimiento en cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN51 en la provincia de Zamora Chinchipe, sector "El Padmi"**, de autoría de la estudiante Dayana Alexandra Cevallos Cuenca, con la cédula de identidad Nro. 1150020681 previa a la obtención del título de Ingeniera Agrónomo. Una vez que los trabajo cumplen con todos los requisitos estipulados por la Universidad Nacional de Loja, apruebo y autorizo su presentación para los trámites de titulación.

Mg. Sc Johnny Fernando Granja Trávez.,
DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ciudad Universitaria "Guillermo Falconí Espinosa" Casilla Letra "S"
Teléfono: 2547 – 252 Ext. 101: 2547-200
dirección.cif@unl.edu.ec

Autoría

Yo, **Dayana Alexandra Cevallos Cuenca**, declaro ser autora del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional - Biblioteca Virtual.

Firma: 

Cédula de identidad: 1150020681

Fecha: 30 de enero del 2023

Correo electrónico: dayana.cevallos@unl.edu.ec

Teléfono: 0968939524

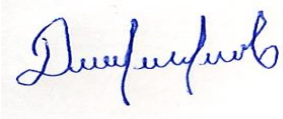
Carta de autorización por parte de la autora, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular o de Titulación.

Yo **Dayana Alexandra Cevallos Cuenca,** declaro ser autora del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Evaluación de tres niveles de sombra, sobre el rendimiento en cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN51 en la provincia de Zamora Chinchipe, sector "El Padmi",** como requisito para optar por el título de **Ingeniera Agrónoma** autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, 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 del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los treinta días del mes de enero de dos mil veintitrés.

Firma: 

Autora: Dayana Alexandra Cevallos Cuenca

Cédula: 1150020681

Dirección: Barrio Amable María, Calles Av. Salvador Bustamante Celi e Isla San Cristóbal

Correo electrónico: dayana.cevallos@unl.edu.ec

Teléfono: 0968939524

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director del Trabajo de Integración Curricular

Ing. Johnny Fernando Granja. Mg. Sc

Dedicatoria

Primeramente, a Dios y la Virgen del Cisne por ser mi guía espiritual, y permitirme culminar esta etapa muy importante en mi vida.

A mis padres por su esfuerzo y apoyo incondicional durante el transcurso de la carrera hasta verme realizada como profesional.

Dayana Alexandra Cevallos Cuenca

Agradecimiento

Quiero agradecer a Dios y a la Virgen del Cisne por guiarme en esta etapa muy importante en mi vida como profesional.

Mi profundo agradecimiento a mis padres Walter y Carmen, quienes con mucho sacrificio y esfuerzo me brindaron apoyo incondicional para seguir adelante y con ello lograr esta meta muy importante en mi vida, gracias por ser ejemplo de esfuerzo y valentía para mí.

Un especial agradecimiento al Ing. Johnny Granja, por compartir sus conocimientos y ser mi guía de culminación de mi trabajo de tesis.

A una persona muy especial para mí, por brindarme su apoyo durante el transcurso de mi carrera.

Dayana Alexandra Cevallos Cuenca

Índice de contenidos

Portada……..i

Certificación ii

Autoría…….....iii

Carta de autorización iv

Dedicatoria……....v

Agradecimiento vi

Índice de contenidos.....vii

Índice de tablas x

Índice de figuras xi

Índice de anexos xi

1. Título……..……...1

2. Resumen 2

2.1. Abstract ---------- 3

3. Introducción 4

3.1. Objetivo General ---------- 5

3.2. Objetivos Específicos ---------- 5

4. Marco Teórico 6

4.1. Generalidades e importancia del cultivo ---------- 6

4.2. Origen ---------- 6

4.3. Taxonomía ---------- 6

4.4. Descripción botánica ---------- 6

4.5. Producción mundial del cacao ---------- 7

4.6. Cultivares de cacao ---------- 7

4.6.1. Cacao criollo ---------- 7

4.6.2. Cacao forastero ---------- 7

4.6.3. Cacao trinitario ---------- 8

4.7. Clones ---------- 8

4.7.1. Características del cacao CCN-51 ---------- 8

4.7.2. Clon INIAP EETP-800 (Estación Experimental Tropical Pichilingue) ----- 9

4.7.3. Clon INIAP EETP-801 (Estación Experimental Tropical Pichilingue) ----- 9
4.8. Condiciones Edafoclimáticas ---------- 9
4.8.1. Suelo ---------- 9
4.8.2. Clima ---------- 10
4.8.3. Luminosidad ---------- 10
4.9. Sombra en cacao ---------- 10
4.10. Ventajas del sombreamiento ---------- 11
4.11. Desventajas de sombreamiento ---------- 12
5. Metodología 13
5.1. Área de estudio ---------- 13
5.2. Establecimiento y manejo de los ensayos ---------- 13
5.3. Diseño experimental ---------- 15
5.3.1. Modelo matemático del diseño experimental ---------- 15
5.3.2. Esquema de diseño experimental ---------- 15
5.4. Metodología para el primer objetivo: ---------- 16
5.4.1. Circunferencia del tallo ---------- 16
5.4.2. Diámetro del tallo ---------- 16
5.4.3. Área de sección transversal del tronco (ASTT) ---------- 16
5.4.4. Diámetro de la copa ---------- 17
5.4.5. Índice de área foliar ---------- 17
5.4.6. Densidad estomática ---------- 17
5.4.7. Concentración de clorofila ---------- 17
5.5. Metodología para el segundo objetivo ---------- 17
5.5.1. Longitud del fruto ---------- 17
5.5.2. Peso de la mazorca ---------- 18
5.5.3. Número de semillas por fruto ---------- 18
5.5.4. Rendimiento estimado ---------- 18
5.5.5. Análisis bromatológicos ---------- 18
5.5.6. Análisis estadístico ---------- 21
6. Resultados 22
6.1. Variables vegetativas ---------- 22
6.1.1. Diámetro del tallo ---------- 22
6.1.2. Área de sección transversal del tronco ---------- 22
6.1.3. Diámetro de copa ---------- 23

6.1.4. Índice de área foliar ----------24
6.1.5. Densidad estomática ----------25
6.1.6. Concentración de clorofila ----------25
6.2. Rendimiento y análisis bromatológicos ----------26
6.2.1. Longitud y ancho del fruto ----------26
6.2.2. Peso del fruto ----------27
6.2.3. Número de semillas por frutos ----------27
6.2.4. Número de mazorcas por árbol ----------28
6.2.5. Rendimiento estimado ----------29
6.2.6. Análisis bromatológicos ----------29
7. Discusión 31
8. Conclusiones 36
9. Recomendaciones 37
10. Bibliografía 38
11. Anexos 45

Índice de tablas

Tabla 1: Análisis de suelos del área de estudio Estación Experimental Santa Catalina.....14

Tabla 2: Incremento del diámetro de copa del factor sombra.....24

Tabla 3: Área foliar del cacao.....25

Tabla 4: Densidad de estomas (estomas mm^{-2}) en cacao CCN-51. 25

Tabla 5: Rendimiento de cacao CCN-51 en Kg/planta.....29

Tabla 6: Análisis bromatológicos de cacao clon CCN-51.....30

Índice de figuras

Figura 1. Localización del área de estudio (Estación Experimental El "Padmi"- UNL).....13

Figura 2. Esquema del diseño experimental en el cultivo de cacao CCN-51, en la estación experimental El Padmi. Se aplicaron tres tratamientos de 0 %, 35 % y 80 %, con seis repeticiones de cada tratamiento y un marco de plantación de 3,5 m entre hilera y 4 m entre planta. 16

Figura 3. Crecimiento del diámetro del tallo en días después de la aplicación de tratamientos DDT de cacao clon CCN-51 bajo tres niveles de sombra. 22

Figura 4. Área se sección transversal del tronco (ASTT) en días después de la aplicación de tratamientos DDT bajo tres niveles de sombra.....23

Figura 5. Diámetro de copa influenciada por tres niveles de sombra en el cultivo de cacao CCN-51 al inicio y final del experimento. *Letras diferentes verticalmente indican diferencia significativa, Tukey (p<0,05), y letras iguales no existe diferencia significativa (p valor > 0,05) 24

Figura 6. Estomas en el envés de la hoja de cacao CCN-51. A. Impronta de tratamiento de 0% de sombra (T1); B. Impronta de tratamientos de 35% de sombra (T2); C. Impronta de tratamiento de 80% de sombra (T3).....25

Figura 7. Concentración de clorofila en cacao CCN-51, bajo tres niveles de sombreo: 26

0 %, 35 % y 80 %. Letras diferentes verticalmente indican diferencia significativa, Tukey (p<0,05) 26

Figura 8. A. Longitud de la mazorca. B y ancho de la mazorca 26

Figura 9. Pesos promedios de la mazorca de cacao clon CCN-51 bajo tres niveles de sombra.....27

Figura 10. Número de semillas de mazorcas de cacao clon CCN-51.....28

Figura 11. Número de frutos de cacao clon CCN-51.....29

Índice de anexos

Anexo 1 . Evidencias de Trabajo en campo 45
Anexo 2. Evidencias fotográficas realizadas en laboratorio.....47
Anexo 3. Datos del Índice de área foliar 49
Anexo 4. Datos de la longitud y ancho del fruto y su rendimiento. 49
Anexo 5. Análisis de suelo 50
Anexo 6. Certificación de traducción del Abstract.....51

1. Título

Evaluación de tres niveles de sombra, sobre el rendimiento en cacao (Theobroma cacao L.) clon CCN51 en la provincia de Zamora Chinchipe, sector "El Padmi"

2. Resumen

A nivel mundial existe una creciente demanda de cacao (*Theobroma cacao* L.) sin embargo, en Ecuador se registran bajos rendimientos, asociados principalmente al desconocimiento de la influencia de sombra en el cultivo, especialmente en las condiciones climáticas de la provincia de Zamora Chinchipe, donde la información es escasa. En este estudio se evaluó el efecto de tres niveles de sombra sobre el rendimiento en cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN51 en la provincia de Zamora Chinchipe, sector "El Padmi", utilizando plantas de aproximadamente dos años de edad, con un marco de plantación de 3,5 m y 4 m, donde se estableció un diseño completamente al azar (DCA), con 3 tratamientos correspondientes a los tres niveles de sombra T1:0 %, T2:35 %, T3:80 % con 6 repeticiones cada una, la unidad experimental estuvo constituida por un árbol, con un total de 18 unidades experimentales. Las variables vegetativas de la fase productiva y su rendimiento fueron; diámetro de tallo, área de sección transversal del tronco (ASTT), diámetro de copa, índice de área foliar, densidad estomática, concentración de clorofila, longitud y ancho del fruto, peso del fruto, número de semillas por fruto, número de mazorcas por árbol, rendimiento y análisis bromatológicos (humedad, ceniza, grasa, proteína, grados brix y acidez. El efecto de los tratamientos sobre las variables dependientes se evaluó mediante ANOVA y test de medias (Tukey) ($p > 0,05$). Los resultados mostraron diferencias significativas en el diámetro de copa al inicio de la aplicación de los tratamientos, siendo el T1 el menor y el T3 el mayor con 160,8 cm y al final del ensayo no existieron diferencias significativas, del mismo modo en la concentración de clorofila el T3 presentó una clorofila mayor de 63,62, en contraposición al 0% que mostró concentración de 44,34. No existen diferencias significativas para las variables de diámetro de tallo, área de sección transversal del tronco (ASTT), índice de área foliar, densidad estomática, concentración de clorofila, longitud y ancho del fruto, peso de fruto, número de semillas, número de mazorcas por árbol y rendimiento. En lo que respecta al contenido de grasa se realizó una valoración exploratoria en la cual el T1 presentó 23,61, el T2: 28, 19 y el T3 obtuvo 31,31 % a diferencia del resto. En general no se evidenció diferencias significativas en el factor sombra para las diferentes variables estudiadas.

Palabras claves: *Theobroma cacao* L, niveles de sombra, rendimiento.

2.1. Abstract

Worldwide there is a growing demand for cocoa (Theobroma cacao L.), however, in Ecuador low yields are recorded, mainly associated with the ignorance of the influence of shade on the crop, especially in the climatic conditions from the Zamora Chinchipe province, where information is limited. That is why in this study the effect of three levels of shade on the cacao yield (*Theobroma cacao* L.) clone CCN51 was evaluated in Zamora Chinchipe province, "El Padmi" sector, using plants of approximately two years old. , with a planting framework of 3.5 m and 4 m, where a completely randomized design (DCA) was established, with 3 treatments corresponding to the three shade levels T1:0 %, T2:35 %, T3:80 % with 6 repetitions each, the experimental it consisted of a tree, with a total of 18 experimental units. The vegetative variables of the productive phase and its performance were; stem diameter, trunk cross-sectional area (ASTT), crown diameter, leaf area index, stomatal density, chlorophyll concentration, fruit length and width, fruit weight, number of seeds per fruit, number of ears per tree, yield and bromatological analysis (moisture, ash, fat, protein, brix and acidity). The effect of the treatments on the dependent variables was evaluated by ANOVA and test of means (Tukey) ($p > 0.05$). The results showed significant differences in crown diameter at the beginning of the application of the treatments, being T1 the smallest and T3 the largest with 160.8 cm and at the end of the test there were no significant differences, in the sami way in the concentration of chlorophyll the T3 presented a chlorophyll greater than 63.62, as opposed to 0% that showed a concentration of 44.34.There are no significant differences for the variables of stem diameter, trunk cross-sectional area (ASTT), leaf area index, stomatal density, chlorophyll concentration, fruit length and width, fruit weight, number of seeds, number of ears per tree and yield. Regarding the fat content, an exploratory assessment was made in which T1 presented 23.61, T2: 28, 19 and T3 obtained 31.31 %, unlike the rest. In general, no significant differences were found in the shadow factor for the different variables studied.

Keywords: *Theobroma cacao* L, shade levels, yield.

3. Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.) se descubrió inicialmente en la selva amazónica distribuyéndose en el segundo y tercer estrato con otros arbustos y palmeras. Es una clase de planta umbrófila, es decir, necesita la presencia de otras plantas que le ofrecen sombra para su habitual avance y producción (Cuenca *et al*., 2019).

La producción de cacao en Ecuador está localizada en las provincias de Los Ríos, Guayas, Manabí, Esmeraldas y El Oro, y en las provincias del nororiente Sucumbíos, Orellana y Napo; por otro lado, la región sur oriental, en especial la provincia de Zamora Chinchipe, paulatinamente está entrando en el mapa de las provincias productoras de cacao. Las mayores superficies de siembra están lideradas por dos clones de cacao: el CCN51 y el cacao "Nacional" (ANECACAO, 2019; Morales Intriago *et al*., 2018).

El cacao es uno de los productos exportables del Ecuador más importantes, de hecho, las exportaciones han crecido más allá de la desaceleración económica mundial, sobre todo en las Américas, ocupando el cuarto lugar en el mundo en 2019 en términos de cacao en grano, y representó el 6,8 % de las exportaciones mundiales totales. Como resultado de la crisis sanitaria relacionada con el COVID-19 las exportaciones de cacao en Ecuador crecieron 11 % en 2020 en comparación con el 2019, pasando de $ 763 a $ 850 millones, siendo el valor más alto en cinco años (Cobos, 2021).

De las investigaciones agronómicas relacionadas con el mejoramiento del medio en que se desarrolla el cacao, una de las primordiales desde el punto de vista técnico es la determinación del sombrío favorable a la planta, para de esta forma beneficiar su comportamiento fisiológico normal. En todos los países productores de cacao recomiendan la eficiencia de sombrío, su necesidad no solo para el crecimiento y desarrollo sino también para su producción y longevidad. Se lo recomienda y protege, pero siempre o la mayoría de veces sin saber el nivel de sombra aconsejable, ya que ha sido complicado apreciar exactamente el grado de adaptación lumínica del cacao y comprender hasta qué punto puede ser benéfico o perjudicial (Cobos, 2021).

Debido a la escasa información del empleo de sombra en cacao, se abre un constante debate: mientras los productores manifiestan que su uso provoca reducción en el desarrollo y productividad, técnicos de diferentes sectores lo recomiendan. Existe 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 Almeida *et al*.,

2019), en contraposición a estudios donde se demuestra que bajo pleno sol, las plantas pueden presentar mecanismos de fotoprotección (Jaimez *et al*., 2018).

En este marco, las 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, las recomendaciones a nivel de finca tienen una base fundamental débil. Por su parte, Villareyna (2016) menciona que la sombra puede favorecer en ciertas etapas de la producción, también que a pleno sol hay mayor número de flores, pero bajo sombra existe mayor cuaje; debido a que se evita la quema directa por la luz solar. Además Tinoco & Vargas (2018) recalca que es necesario mantener las plantas de cacao bajo sombra parcial, tanto en etapa de crecimiento como de producción.

Sin embargo, no existen estudios que indiquen cuánta radiación fotosintéticamente activa está presente en estas localidades productoras, sin estos conocimientos es imposible hacer recomendaciones precisas a los agricultores de la zona. El entendimiento de dichos parámetros específicos de los diferentes niveles de sombra nos ayudaría a lograr un alcance mayor en mejorar las recomendaciones de luminosidad en el cultivo con fines de incrementar el rendimiento. Por tal razón el presente proyecto busca determinar el efecto de tres niveles de sombra sobre el rendimiento en cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN51 en la provincia de Zamora Chinchipe, sector “El Padmi”.

Tomando en cuenta lo antes mencionado se plantearon los siguientes objetivos:

3.1. Objetivo General

- Evaluar el efecto de tres niveles de sombra sobre el rendimiento en cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN51 en la provincia de Zamora Chinchipe, sector “El Padmi”.

3.2. Objetivos Específicos

- Determinar los efectos que ejercen diferentes niveles de sombra sobre la fase productiva del cacao.
- Analizar el efecto de niveles de sombra sobre el rendimiento del cacao.

4. Marco Teórico

4.1. Generalidades e importancia del cultivo

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una especie del género *Theobroma*, de la familia Malvaceae, el cual cuenta con más de 22 especies. Produce almendras que son destinadas para la elaboración de chocolates y grasas para las industrias alimentarias o cosmetología. Se encuentra en más de 50 países ubicados en África, América, Asia y Oceanía. Veintitrés de estos países están en América Latina y el Caribe (Arvelo *et al*., 2016).

4.2. Origen

El cacao es originario de Suramérica y domesticado en Mesoamérica, requiere de condiciones climáticas apropiadas de temperatura, precipitaciones, humedad para obtener buenos rendimientos y disminuir la susceptibilidad a plagas y enfermedades.

Las producciones mundiales del cacao provienen de Suramérica y que han sido propagados en África, Asia, Oceanía, Mesoamérica y el Caribe, se han desarrollado por semillas y materiales de propagación (Arvelo *et al*, 2016). Aunque algunos autores como Estrada *et al.* (2011) indican que el cultivo de cacao se inició en México y América Central, en donde los españoles lo encontraron creciendo de forma natural es en bosques a lo largo de los ríos Amazonas y Orinoco.

4.3. Taxonomía

Arvelo *et al*. (2017) detalla la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliópsida

Orden: Malvales

Familia: Malvaceae

Género: *Theobroma*.

Nombre científico: *Theobroma cacao* L.

4.4.Descripción botánica

El cacao es un árbol o arbusto semicaducifolio con una altura de hasta 12 m, el cultivo normalmente llega de 4 a 8 m. El clon CCN51 cuenta con una raíz principal pivotante y muchas

raíces secundarias, de las cuales la mayoría se encuentran a los 30 cm del suelo (ANECACAO, 2017).

Posee hojas simples, enteras y con peciolo corto. Presentan un café rojizo claro en hojas jóvenes y de color verde a medida que se desarrollan y con un pecíolo corto (Almeida & Valle, 2007). Las flores se producen en racimos pequeños sobre el tejido maduro mayor de un año del tronco y de las ramas, alrededor de los sitos donde antes hubo hojas. Producen aproximadamente unas 20 mazorcas de color rojizo, las mazorcas poseen de 20 a 40 semillas de color morado y sabor amargo con la pulpa de sabor ácido a dulce (ANECACAO, 2017).

4.5. Producción mundial del cacao

Desde 1961 hasta 2016 en el mercado mundial de cacao se comercializaron un promedio de 3,17 millones de toneladas. Sin embargo, se han incrementado las exportaciones desde inicios del 2000, llegando a 5,8 millones de toneladas. Mucha de la oferta mundial proviene del continente africano. (Durango *et al.*, 2019).

4.6. Cultivares de cacao

Dentro del sistema tradicional se emplean tres tipologías de cultivares, de los cuales se desprenden las variedades, híbridos y clones que hoy se siembran a nivel mundial: los catalogados criollos, forasteros y trinitarios (Arvelo *et al*., 2016).

4.6.1. Cacao criollo

Tienen su origen en el norte de América del Sur y Centroamérica. Se caracterizan por poseer un sabor suave y aromático, están primordialmente en Venezuela, América Central, Papua Nueva Guinea, Las Antillas del Caribe, Sri Lanka, Timor Oriental y Java. Dominaron el mercado internacional hasta mediados del siglo XVIII. Gracias a su alta susceptibilidad a patologías y su baja eficiencia se ha ido reduciendo como cultivo y en el mercado. Se caracterizan por poseer frutos alargados de punta pronunciada, doblada y aguda. La superficie de estos frutos es por lo general rugosa, delgada, de color verde con manchas con apariencia de salpicaduras que van desde los colores rojo a la púrpura oscura. Los frutos están marcados por unos 10 surcos muy profundos; sus granos son grandes, gruesos, casi redondos, de cotiledones blancos o poco pigmentados, con bajo contenido de taninos, ricos en aromas y sabores. De estos cacaos se obtiene chocolate de alta calidad (Sánchez *et al*., 2017).

4.6.2. Cacao forastero

Dominan la producción y el comercio mundial de granos, son pertenecientes a la cuenca amazónica y son producidos en los cuatro continentes cacaoteros (África, Asia, América y Oceanía). Se caracterizan por tener frutos por lo general ovalados y cortos, con colores que

varían entre el verde y amarillo al madurar, son de superficie lisa, con corteza gruesa y lignificada en su interior. Tienen granos pequeños y aplanados, colores que van desde púrpura oscuro e intenso hasta el violeta pálido, en relación del contenido de sus taninos. Sobre esta clase de cacao descansa la enorme biodiversidad de la clase con base en la población silvestre; no obstante, se ha determinado que la base genética de la población cultivada es reducida, ya que es dependiente en alto porcentaje del subtipo forastero amelonado (Sánchez *et al*., 2017).

4.6.3. Cacao trinitario

Son tipos generados por la hibridación de criollos x forasteros. Son muy heterogéneos genéticamente y morfológicamente, es imposible delimitarlos por medio de características externas comunes, las plantas son robustas con frutos verdes o pigmentados y con semillas que van del violeta oscuro al rosa pálido (Sánchez *et al*., 2017).

4.7. Clones

Corresponden a plantas que muestran elementos hereditarios idénticos, ya que se derivan de una planta madre seleccionada (plant plus). Los clones son propagados asexualmente por medio de estacas, acodos e injertos (Quiñones *et al*., 2015).

Se identifica con letras y números que vienen de su exploración, como es el caso del CCN51 (Colección Castro Naranjal), material que cubre una sección de las plantaciones de la Amazonía, sus mazorcas son rojizas-moradas en estado tierno, y cuando maduran son de color rojizo-anaranjado (Paredes, 2009).

4.7.1. Características del cacao CCN-51

El clon CCN51 fue seleccionado y estudiado por Homero Castro hace más de 30 años, investigó la población de cacao del alto Amazonas del Ecuador, coleccionando material genético para usarlo en programas de cruzamiento con variedades Trinitarias y otros cultivos, buscando un clon de alta calidad y gran productividad resistente a las enfermedades. Es importante señalar que el origen genético de este clon es fruto de cruce de los clones ICS 95 (Trinitario) y el IMC 67(Amazónico), en 1965 en la zona de Naranjal en la hacienda “Sofí” (Quintana & Gómez , 2011).

Las dos variedades de cacao que se producen en Ecuador son Nacional fino y CCN51. La variedad CCN51 registra mayor productividad, inicio más temprano de producción y mayor resistencia a enfermedades, además de precoz, y tener almendras con un contenido de 54% de manteca, uno de los rendimientos más altos para la industria de la mantequilla de cacao.

En lo que se refiere a producción, CCN51 tiene el mayor peso promedio de grano, porcentaje de grasa, características menos deseables, como un pH bajo para testa y cotiledón, una cantidad moderada a baja de sabor de cacao y altos niveles de amargor y astringencia (Solórzano *et al*, 2011).

4.7.2. Clon INIAP EETP-800 (Estación Experimental Tropical Pichilingue)

Se caracteriza por su precocidad (14 meses) y alto rendimiento, aportando al crecimiento productivo y a la oferta exportable de cacao fino y de aroma (Loor *et al*., 2019).

4.7.3. Clon INIAP EETP-801 (Estación Experimental Tropical Pichilingue)

Se lo obtuvo mediante el cruce de clones de origen nacional y el clon CCN 51; material que se destaca por presentar características de altos niveles de rendimiento productivo (2,4 a 3 t/ha/año de cacao seco) y de calidad (Loor *et al*., 2019).

4.8. Condiciones Edafoclimáticas

Para el establecimiento de un cultivo de cacao, es considerable tener en cuenta la altitud de la zona, debido a que se convierte en un factor determinante en el cambio de temperatura, precipitación, luminosidad, suelo y humedad relativa, condiciones que paralelamente afectan de manera directa el crecimiento y desarrollo de la planta.

4.8.1. Suelo

El árbol del cacao se ajusta predominantemente a los mejores suelos, desde suelos arcillosos hasta suelos franco arenosos, y para el buen desarrollo de las raíces del cacao se requiere de una buena aireación; son considerados suelos buenos aquellos en los que las raíces se profundicen más de un metro y exista una buena aireación (Johnson *et al*., 2008).

Para lograr tener una alta productividad, el cacao necesita un suelo abundante en nutrientes. En muchas zonas productoras de cacao, el contenido de nutrientes del suelo sin la aplicación de fertilizante es pobre, principalmente si el suelo estuvo bajo cultivo a lo largo de un largo tiempo.

El cacao puede desarrollarse sobre suelos de reacción muy ácida con pH inferior a 5,0, inclusive sobre suelos de reacción muy alcalina, o sea un pH mayor a 8,0, pero se cree que un buen suelo para cacao presenta un pH comprendido entre 6,0 y 7,0 con un óptimo de 6,5.

Algunas de las propiedades deseables en los suelos para la siembra de cacao es la existencia de hojarasca en la cubierta superficial, capa de humus y el resto del horizonte A con más de 10 cm, espesor y porosidad de la cubierta inferior de más de 90 cm, presencia de microbiana benéfica y un óptimo drenaje (Arvelo *et al.,* 2017).

4.8.2. Clima

La planta de cacao se encuentra en los bosques húmedos tropicales en donde el clima es cálido y húmedo durante casi todo el año (Arvelo *et al.*, 2016). Los factores climáticos de mayor consideración son la temperatura, la precipitación y la humedad relativa, en tal sentido, el cacao se cultiva en temperatura media anual entre 24,5 y 25,6 ºC. El cacao no soporta temperaturas bajas tampoco temperaturas muy altas por que pueden provocar alteraciones fisiológicas en el árbol, debido a que es un cultivo umbrófila (Suárez *et al*., 2016). Por otra parte, Suglla (2013) indica que las precipitaciones anuales superiores a los 2500 mm aumentan la incidencia de enfermedades fúngicas. El cacao se cultiva en zonas con presencia de agua durante todo el año, ya que el cacao es muy sensible a la falta de humedad en el suelo.

El cultivo de cacao se adapta a zonas tropicales, comprendida entre los 20º latitud Norte y 20º latitud Sur. En áreas cercanas al Ecuador las plantaciones se desarrollan y producen normalmente hasta altitudes que llegan a 1400 msnm. En cambio, en Centro América por estar a mayor latitud, la altura propicia para el desarrollo del cacao es de 900 msnm, por encima de este límite afecta su capacidad productiva y adaptación, lo que se ve reflejado en reducción del rendimiento (Infocacao, 2015) .

4.8.3. Luminosidad

La intensidad de la luz es otro aspecto esencial en el cultivo del cacao, principalmente porque influye en los procesos fotosintéticos. En etapas de establecimiento del cultivo se sugiere la siembra de otras plantas para proporcionar sombra, ya que las plantas en esta etapa son muy susceptibles a la acción directa de los rayos solares (ANECACAO, 2017). En etapa de producción se cree que una intensidad lumínica menor al 50 % del total de la luz limita los rendimientos, en tanto que cuando es mayor al 50 % los incrementa (Doster *et al*., 2011).

4.9.Sombra en cacao

El cacao es una especie tolerante a la sombra, donde un sombreado apropiado conduce a tasas fotosintéticas, crecimiento y rendimiento de semillas altos. El cultivo de cacao requiere para su desarrollo habitual dos tipos de sombra, una de ellas se ejecuta al inicio o temporal que otorga sombra a lo largo de la etapa donde las plantas están en desarrollo; y otra para resguardar el cacao a lo largo de toda su etapa de producción (Suárez & Moreira, 2007).

En los bosques de la costa Atlántica en Brasil, el 75 % de la producción brasileña se obtiene utilizando un sistema llamado *Cabruca,* el cual es un tipo especial de agrosilvicultura en el que se elimina drásticamente el sotobosque para introducir el cacao y se reduce la densidad de árboles del piso superior, el cual exhibe muchos atributos de sustentabilidad del bosque natural

heterogéneo. Como sistema agroforestal el cacao es usualmente intercalado con otras especies que son generalmente especies de valor económico, también se usa algún tipo de leguminosa con la finalidad de fijar nitrógeno en el suelo (Almeida & Valle, 2007).

El cacao a lo largo de los primeros años de vida es más exigente con el nivel de sombreo que oscila entre el 60 y 70% (Agudelo *et al.*, 2018). A medida que la copa de la planta se desarrolla el rango debe ser disminuido paulatinamente hasta un 40-20 % en plantaciones de más de ocho años de establecidas. Con este nivel de sombreo, puede llegar a presentar densidades de flujo fotónico de 400 a 600 $\mu mol/m^2/s$. Nuevos análisis en variedades ecuatorianas de cacao clonal y CCN51 a alta luminosidad, enseñaron incrementos de hasta el 35 % en la tasa fotosintética neta a 1800 µmol/m2/s, dando como resultado final un desarrollo más acelerado y una mayor producción de fotoasimilados (Jaimez *et al.*, 2018).

Bajo condiciones de sombreo, la disponibilidad de humedad en el suelo es mayor a lo largo de la época seca, permitiendo mantener la actividad fisiológica de las plantas (Agudelo *et al*., 2018). Un sombreo correspondiente aumenta la vida productiva por hasta 50 años, ya que ayuda a un incremento de la tasa fotosintética, desarrollo y rendimiento, además de reducir los efectos de los componentes ecológicos perjudiciales como la baja fertilidad del suelo, daños mecánicos causados por el viento y temperaturas extremas del aire y del suelo a lo largo la época seca (Almeida & Valle , 2007). En cambio, tener cacaotales sin sombra supone menor vida productiva, mayor demanda de fertilizantes, transpiración excesiva de las hojas e incremento en la evapotranspiración del suelo (Almeida & Valle , 2007).

Las hojas de cacao sometidas a sombreo mantienen superiores concentraciones de clorofila, influyendo en las tasas de absorción de CO_2 (Jaimez et al., 2018). La mayor tasa fotosintética está asociada a la mayor concentración de clorofila (Agudelo *et al*., 2018).

4.10. Ventajas del sombreamiento

Martínez (1981) menciona que la sombra ayuda a conseguir una buena rentabilidad debido al mejor manejo de malezas, además mantiene la permeabilidad y la aireación del suelo, es considerable destacar que impide el quemado foliar, disminuye la manifestación de enfermedades como *Phytophthora, Moniliophtora* y plagas; además posibilita el aprovechamiento de los fertilizantes perdidos por lixiviación por parte de los árboles de sombra.

Por otro lado, Ordoñez *et al*. (2021) encuentran que las sombras en cacao mejoran las condiciones micro climáticas, favorecen el balance hídrico del cultivo y reducen el estrés

hídrico para que no se limite el flujo de la savia, la fotosíntesis y por ende el rendimiento del cultivo.

4.11. Desventajas de sombreamiento

Gutiérrez *et al*. (2015) afirma que repentinas defoliaciones de los árboles de sombra, a causa de insectos o enfermedades pueden producir un cambio brusco en las condiciones ambientales normales del cultivo bajo sombra y ocasionar una muerte progresiva de los ápices; por lo tanto, es preferible el uso de varias especies de sombra que solo una.

La competencia de las raíces de los árboles de sombra por agua en la estación seca y por oxígeno en la estación lluviosa. Los árboles de sombra no sólo reducen la cantidad de luz disponible y por lo tanto el rendimiento de los suelos fértiles, sino también la calidad de la radiación trasmitida al absorber diferencialmente, ciertas longitudes de onda importantes en la fotosíntesis (Gutiérrez *et al.*, 2015).

5. Metodología

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 ºC, 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).

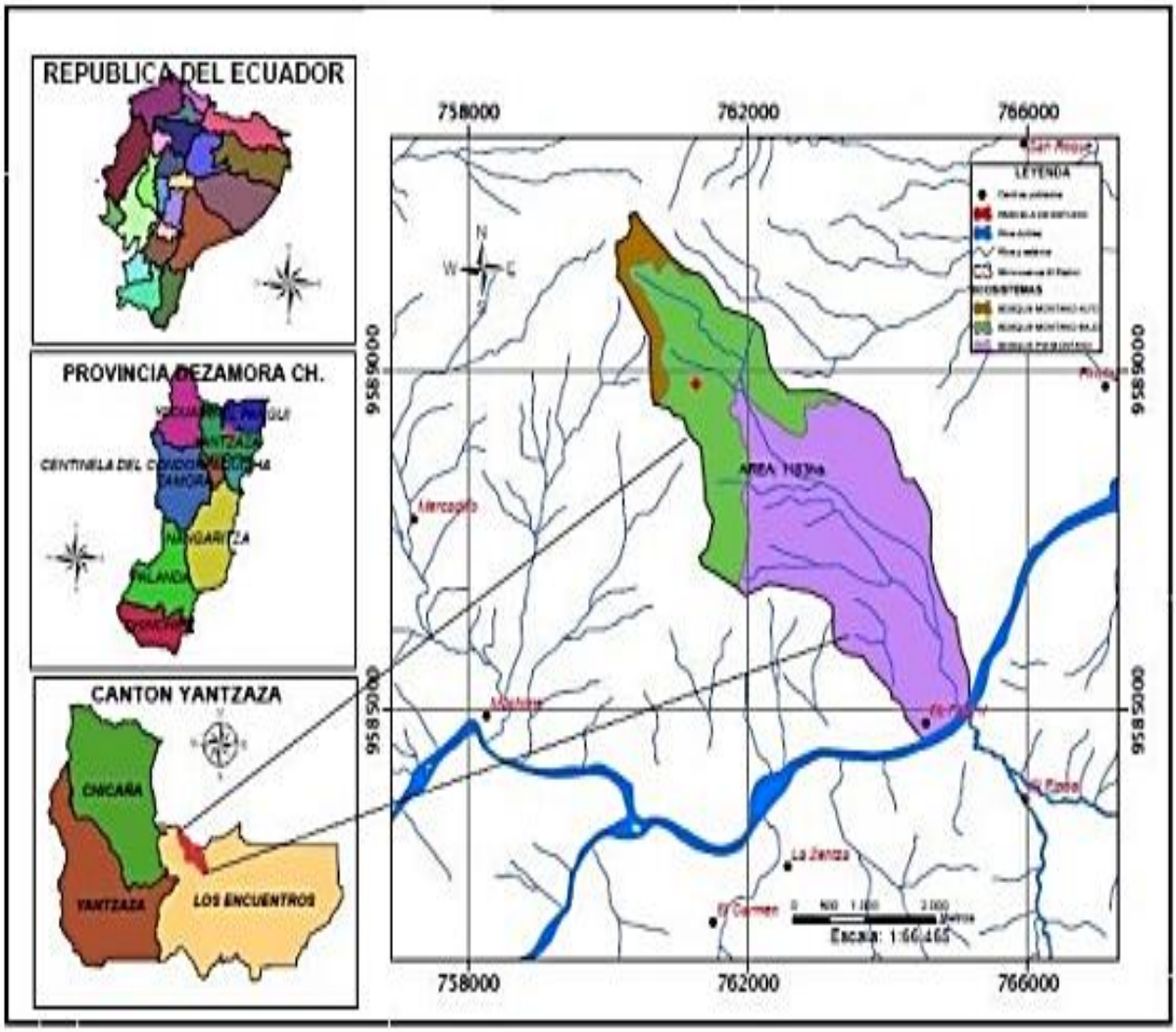


Figura 1. Localización del área de estudio (Estación Experimental El "Padmi"- UNL).

5.2.Establecimiento y manejo de los ensayos

El proyecto de investigación 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 cacao de dos años de edad, El marco de plantación es de 3,5 m entre hilera y 4 m entre planta.

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 2 m de la altura desde el suelo, y se mantuvo así durante todo el tiempo de ejecución del ensayo (Anexo 1, imagen 1).

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 como de plagas y enfermedades, según los requisitos exigidos en relación con el entorno y condiciones biofísicas propias de la zona de estudio.

La recolección de los datos se realizó desde el 25 de marzo hasta julio del 2022, cada 21 días.

Para ello, se realizó un análisis de suelo por parte del grupo de investigadores del macroproyecto, y los resultados obtenido (Tabla 1) serán utilizados para realizar correcciones de suelo antes de la implementación de los tratamientos. El elemento deficiente es el Boro (B), y para su corrección se utilizó el fertilizante: Ácido Bórico, se aplicó lo recomendado por el fertilizante, 5 cucharadas (25 g) de ácido bórico y en bomba de 20 litros.

Análisis de suelos del área de estudio Estación Experimental Santa Catalina

Tabla 1: Análisis de suelos del área de estudio Estación Experimental Santa Catalina

Nutrientes	Valor	Unidad
N	155	ppm
P	31	ppm
S	15	ppm
K	0,48	meq/100g
Ca	15,85	meq/100g
Mg	2,17	meq/100g
Zn	6,1	meq/100g
Cu	5,8	ppm
Fe	297	ppm

Mn	1,3	ppm
B	0,9	ppm

La segunda fase se realizó en el Laboratorio de Suelos y Bromatología de la Universidad Nacional de Loja, se obtuvieron datos de las almendras; humedad, ceniza, grasa y proteínas, datos del mucílago, grados brix y acidez.

5.3.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 % sombra (T1); Tratamiento 2: 35 % de sombra (T2); Tratamiento 3: 80 % de sombra (T3); y seis repeticiones por tratamiento (Figura 2). Se consideró a cada planta de cacao como Unidad Experimental (UE).

5.3.1. Modelo matemático del diseño experimental

$\boldsymbol{Yij} = \mu + \tau i + \varepsilon ij$

Dónde:

$\boldsymbol{Yij}$= Variable de respuesta

μ= media general de las observaciones

$\boldsymbol{\tau i}$ = efecto del tratamiento (i: 1,2,3)

$\boldsymbol{\varepsilon ij}$= Error experimental

5.3.2. Esquema de diseño experimental

La Figura 2 es el esquema del diseño experimental aplicado en campo:

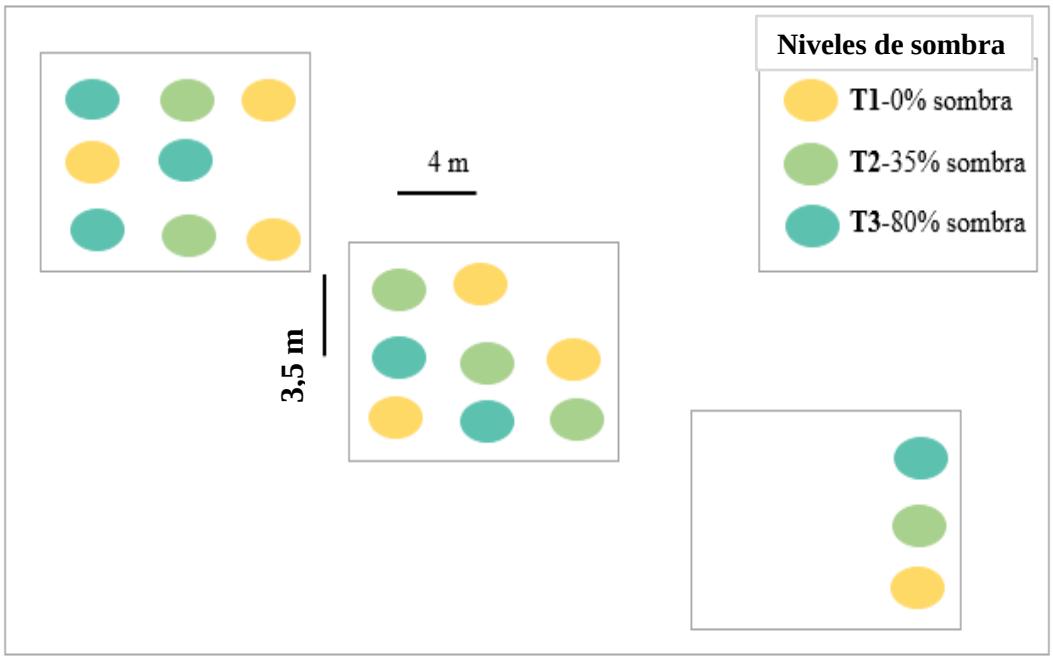


Figura 2. Esquema del diseño experimental en el cultivo de cacao CCN-51, en la estación experimental El Padmi. Se aplicaron tres tratamientos de 0 %, 35 % y 80 %, con seis repeticiones de cada tratamiento y un marco de plantación de 3,5 m entre hilera y 4 m entre planta.

5.4.Metodología para el primer objetivo:

Determinar los efectos que ejercen diferentes niveles de sombra sobre la fase productiva del cacao.

5.4.1. Circunferencia del tallo

Para la medición de la circunferencia del tallo se utilizó una cinta métrica, a una altura de 10 cm sobre el suelo (Anexo 1, imagen 2).

5.4.2. Diámetro del tallo

Para la medición del diámetro del tallo se partió a partir de la circunferencia (C) utilizando la siguiente fórmula D= C/π

5.4.3. Área de sección transversal del tronco (ASTT)

Se midió el perímetro del tronco a 10 cm del suelo con una cinta métrica, a partir del cual se obtuvo su área utilizando la siguiente fórmula matemática: ASTT= $\frac{c^2}{4\pi}$, donde c= circunferencia del tronco.

5.4.4. Diámetro de la copa

Se tomaron medidas del diámetro con una cinta métrica en sentido norte-sur y este-oeste, proyectando la copa del árbol en círculo y se reemplazó con la fórmula d= (d1+d2) /2, expresado en cm. Se realizó una al comienzo y otra al final.

5.4.5. Índice de área foliar

Se seleccionará 10 hojas de cacao al azar por unidad experimental para obtener una función que estime el área foliar. Para ello se midió la longitud con una cinta métrica. Esta medición se realizará al final del ensayo (Anexo 3), y con estos datos, por medio de regresión, se obtuvo una ecuación para estimar el área foliar a partir del largo de la hoja.

Posteriormente se calculó el Índice de Área Foliar (IAF) con la siguiente fórmula:

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

5.4.6. Densidad estomática

Corresponde al número de estomas encontrado en un área determinada de la hoja. Se siguió el protocolo empleado por Priego *et al*., (2003). Se aplicó barniz de uñas transparente, en un área de 50 mm^2 en la superficie abaxial de la hoja (Anexo 2, imagen 1). Después que el barniz se secó, la capa se removió y montó en un portaobjetos. Se tomarán dos muestras de cada hoja, en la región de la parte central entre las venas secundarias. Las muestras se observaron en el microscopio OLYMPUS CX31 con un aumento de 10X y mediante el uso del programa Micro Cam Ver 5.7 se procedió a fotografiar 6 campos por muestra, luego para el conteo de estomas se procedió a marcar en cada fotografía un área de 120 000 um^2, siendo ésta el área de conteo, el dato final se expresó en número de estomas por mm^2.

5.4.7. Concentración de clorofila

Las lecturas de clorofila se realizaron con el equipo Minolta SPAD-502, que evalúa cuantitativamente la intensidad del verde de las hojas, obteniéndose medias de una planta al azar por cada unidad experimental. Esta variable se evaluó al final del ensayo (Anexo 1, imagen 5).

5.5. Metodología para el segundo objetivo

Analizar el efecto de niveles de sombra sobre el rendimiento del cacao.

5.5.1. Longitud del fruto

Se marcaron los frutos por UE y se midió con una cinta métrica desde el estadio 72 (20% del tamaño final del fruto) de la escala BBCH modificada (Puran Bridgemohan et al., 2016) en cada fruto.

5.5.2. Peso de la mazorca

En frutos cosechados se empleó una balanza digital para determinar el peso fresco total de cada mazorca en estado de madurez fisiológica (Anexo 1, imagen 4).

5.5.3. Número de semillas por fruto

Se cuantificó el número total de semillas por frutos en estado de madurez fisiológica seleccionados para cada unidad experimental.

5.5.4. Rendimiento estimado

Esta variable se calculó mediante el producto del peso del grano seco, le número de granos por fruto y el número de mazorcas por planta, a su vez, esta cantidad se dividió por la densidad de plantas (Anexo 4).

5.5.5. Análisis bromatológicos

Debido a que las plantas se encontraron en entrada en producción no fue posible establecer repeticiones para cada tratamiento por lo que únicamente se pudo hacer un análisis preliminar descriptivo de estas variables.

5.5.5.1.Humedad

Se realizó en el Laboratorio de Suelos, Agua y Bromatología de la Universidad Nacional de Loja, según la metodología de Asociación de Comunidades Analíticas (AOAC, 2016), la cual para obtener la humedad se necesita determinar la materia seca del grano del cacao, donde se realizó atreves de la materia seca del grano del cacao clon CCN51, donde se realizó dos mediciones en el peso de la muestra donde se colocó en un desecador, hasta enfriar la temperatura ambiente finalmente se volvió a pesar en una balanza analítica y se digitalizaron los datos. Se aplicó la siguiente formula.

$$\% \, MSP = \frac{\text{Peso de la muestra parcialmente seca}}{\text{Peso muestra TCO}} * \ 100$$

%HI=100 - % MSP

Porcentaje de humedad inicial (%HI) = Porcentaje de humedad parcial (%HP)

5.5.5.2.Ceniza

Según la metodología INEN (2013) para obtener la ceniza se toma en cuenta dos muestras por cada repetición de cada tratamiento. La cual se tomaron 8 crisoles por las 4 muestras, los crisoles se encontraban previamente desinfectados en una mufla ajustada a

(550 ± 15 ºC), durante 30 min donde se procedió a enfriar en el desecador y se pesaron las muestras con aproximación de 4 g de cacao clon CCN51. Los crisoles con las muestras fueron pesados uno por uno en la balanza digital después de los crisoles con su contenido cerca de la puerta de la mufla abierta y mantenerla allí durante pocos minutos, para evitar pérdidas por proyección de material. La mufla se ajustó a (550 ± 15 ºC) hasta obtener cenizas de cacao de un color gris claro se observaba que no se fundan las cenizas en el tiempo de 8 horas. Finalmente, se sacaron de la mufla y se dejó enfriar a temperatura ambiente por una hora y se llevó a pesar y digitalizar los datos. Para ellos se aplicó la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{C} = \frac{100(\mathrm{m3} - \mathrm{m1})}{100 - \mathrm{H}\ (\mathrm{m2} - \mathrm{m1})}$$

En donde:

C= contenido de cenizas en harinas de origen vegetal, en porcentaje de masa.

m1= masa de crisol vacío, en g.

m2= masa de crisol con muestra, en g.

m3= masa de crisol

5.5.5.3. Grasa

Se procedió aplicar la metodología según Mereles & Martínez (2022), donde se procedió a preparar las almendras de cacao separando la cubierta y dejando pelada, posterior se molieron las muestras en un mortero hasta obtener una muestra homogénea, se tomaron 8 muestras en total entre los tres tratamientos. Se pesaron en la balanza analítica 5 gr de muestra de cacao clon CCN51, pesando el papel solo y luego se pesó con la muestra de cacao. Luego se coloca el cucurucho en el sifón del aparato de Soxhlet y sobre el calentador un balón de 250 ml, previamente se registra el peso exacto del balón. Se agregaron 3 sifonadas de petróleo en el reservorio de solvente del sistema Soxhlet y se lo prendió por 12 horas para la extracción de grasa. Se apagó y se desmoto el balón con el solvente se enfrió el balón a temperatura ambiente y se colocó en el equipo evaporador al vacío para eliminar algún residuo del solvente se puso

en la estufa por 1 hora a 75 ºC. Finalmente, se pesaron los balones en la balanza analítica y se calculó el porcentaje de lípidos totales en la muestra con las siguiente fórmula:

Lípidos totales (g/100g) = (Pbm – Pb) x100 / Pm

para contenido de lípidos sobre base seca (SBS)

Donde:

Pbm: peso en gramos del balón con aceite de la muestra.

Pb: peso en gramos del balón vacío.

Pm: peso en gramos de la muestra.

5.5.5.4. Proteína

Para la extracción de proteína se tomaron 8 muestras de cacao entre los 3 tratamientos y se realizó mediante el método de Kjadahl según (AOAC, 2001), la cual nos dice que para la determinación analítica del contenido en proteína total, se determina por lo general el contenido de nitrógeno (N) tras eliminar la materia orgánica con ácido sulfúrico (método de Kjeldahl), calculándose finalmente el contenido de proteína con ayuda de un factor (en general f= 6.25). Para el cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

Proteína total % = $(V_{Muestra} - V_{Blanco}) \times N_{Acido} \times 1.4 \times F/G_{Muestra}$

Donde:

$\mathbf{V_{Muestra}}$**:** ml de ácido gastados en la valoración de la muestra

$\mathbf{V_{Blanco}}$: ml de ácido gastados en la valoración del blanco

$\mathbf{N_{Acido}}$**:** normalidad del ácido sulfúrico

0.014: peso del meq de nitrógeno, en g

F: factor de conversión de nitrógeno a proteína

G: muestra peso en g de la muestra

5.5.5.5. Acidez

Para el cálculo de acidez se pesaron 10 gramos de mucilago de las semillas de cacao clon CCN51, se disolvieron con 50 ml de agua destilada, la dilución se sometió por 2 horas a fuego lento hasta su completa disolución se enfrió a temperatura ambiente, luego se procedió

aforar a 100 ml (Anexo 2, imagen 4). En la bureta se colocó una solución de 0,1 N de NaOH. Se trasvasó a un Erlenmeyer 20 ml de la solución preparada y se fueron colocando gota por gota de fenolftaleína. Se realizó el viraje (esto hasta lograr tonalidad rosada persistente). Finalmente se calculó el porcentaje de acidez, de acuerdo al acido de mayor porcentaje en la fruta cítrica del cacao que fue de meq 0,064 (AOAC, 2016).

Para el cálculo de acidez se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \textbf{ de acidez} = \frac{V * N * meq * 100}{M}$$

Donde:

V: Volumen gastado en la titulación

N: Normalidad generalmente 0.1

meq: Valor de miliequivalente en gramos del ácido en el que se quiere expresar la acidez

5.5.5.6. Grados Brix

Una vez cosechados los cacaos se partieron por la mitad y se retiraron las semillas con ayuda de un cuchillo y se extrajo el mucilago en un mortero para tener toda la pulpa, con ayuda de una cuchara dosificadora se colocó la pulpa en un papel filtro para tomar una gota de la pulpa y colocar en el refractómetro (Anexo 2, figura 3), mirando finalmente el valor obtenido para las 4 muestras.

5.5.6. Análisis estadístico

Para el análisis se tabularon los datos en una tabla de Excel y posterior se tomaron los datos para a través del programa estadístico InfoStat versión 2020, realizando un Análisis de Varianza (ANOVA), para determinar si existieron, o no, diferencias significativas entre los tratamientos; se realizó una prueba de TUKEY con un porcentaje del 95 % (0,05) de confiabilidad, para así determinar cuál es el mejor tratamiento.

6. Resultados

6.1. Variables vegetativas

6.1.1. Diámetro del tallo

No se encontró diferencia estadística significativa para el diámetro del tallo (p > 0,05), a los 0 DDT presentó un valor medio inicial de 3,75, 4,56 y 4,36 cm en los tratamientos T10 %, T235 % y T380 % de sombra respectivamente. Los tratamientos mostraron un diámetro de tallo similar; se puede apreciar que el T1 tuvo un diámetro final de 4,26 cm, el T2 mostró un diámetro de tallo final de 5,11 cm y el T3 mostro un diámetro final de 4,99 cm, como lo indica la Figura 3.

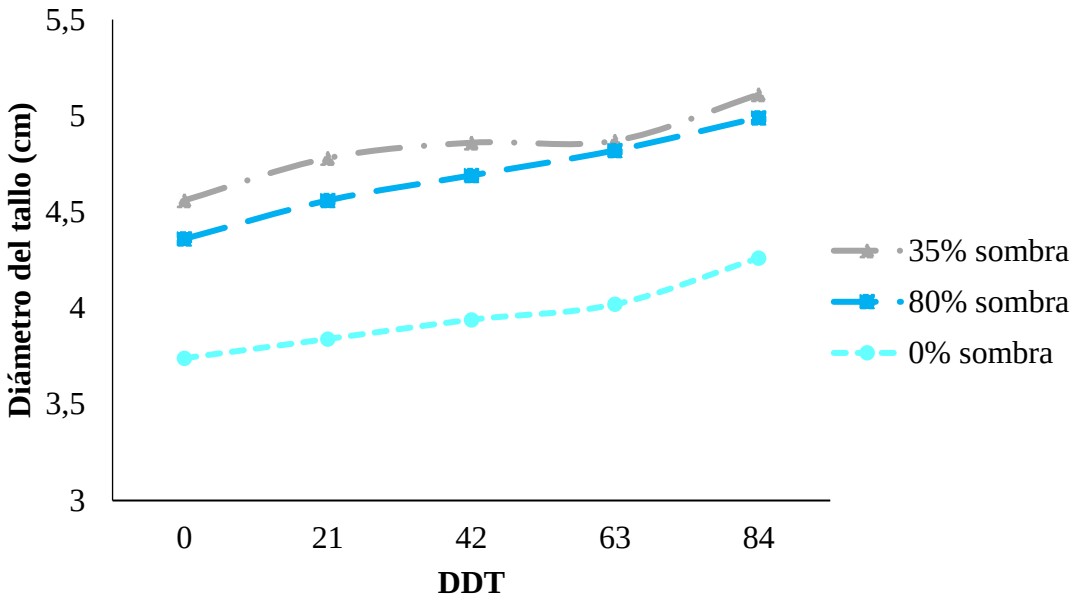


Figura 3. Crecimiento del diámetro del tallo en días después de la aplicación de tratamientos DDT de cacao clon CCN-51 bajo tres niveles de sombra.

6.1.2. Área de sección transversal del tronco

No se encontró diferencia estadística significativa para el área de sección transversal del tronco (p > 0,05), a los 0 DDT se presentó un área de 12,4, 17,71 y 15,36 cm^2 en los tratamientos T10 %, T2 35 % y T3 80 % de sombra respectivamente y a los 84 días DDT se puede apreciar que el T1 tuvo un área final de 15,98 cm^2, el T2 mostró un área final de 22,28 cm^2, el T3 mostró un área final de 20,07 cm^2 como lo indica la figura 4.

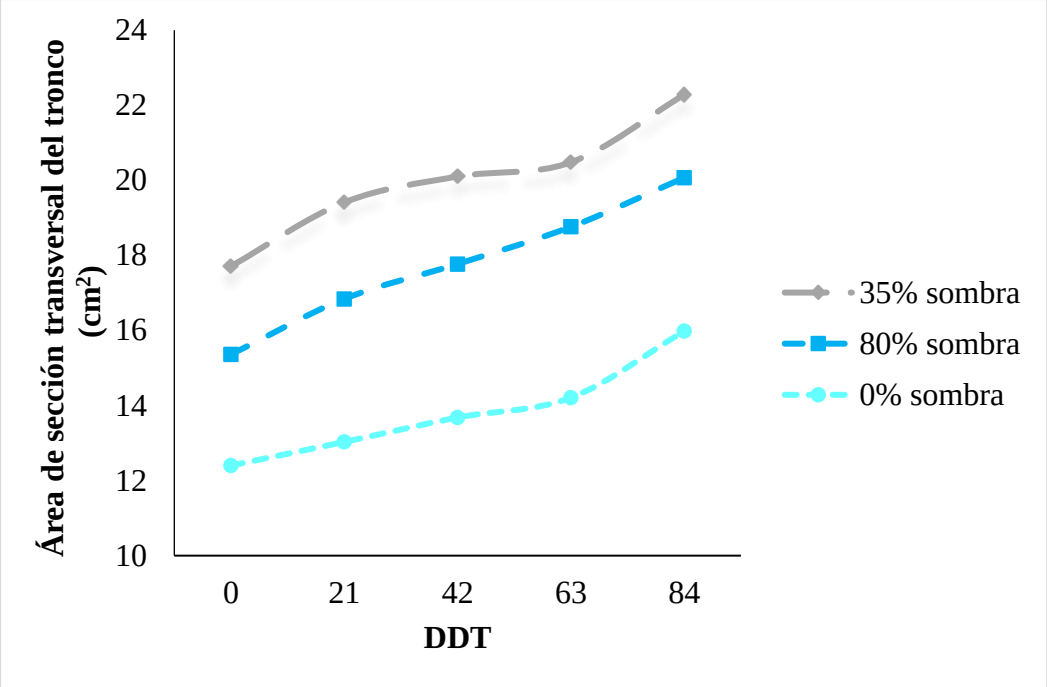


Figura 4. Área se sección transversal del tronco (ASTT) en días después de la aplicación de tratamientos DDT bajo tres niveles de sombra.

6.1.3. Diámetro de copa

En el factor sombra, sí se encontraron diferencias significativas al inicio del ensayo, teniendo el 35 % con un mayor diámetro de copa 160,8 cm a comparación con el 0% con un diámetro de 100,07 cm. Pero no se encontraron diferencias significativas al final del experimento presentando rangos entre 186,6, 160,75 y 130,79 cm en los T1 0 %, T2 35 % y T3 80 % de sombra respectivamente, como lo indica la figura 5.

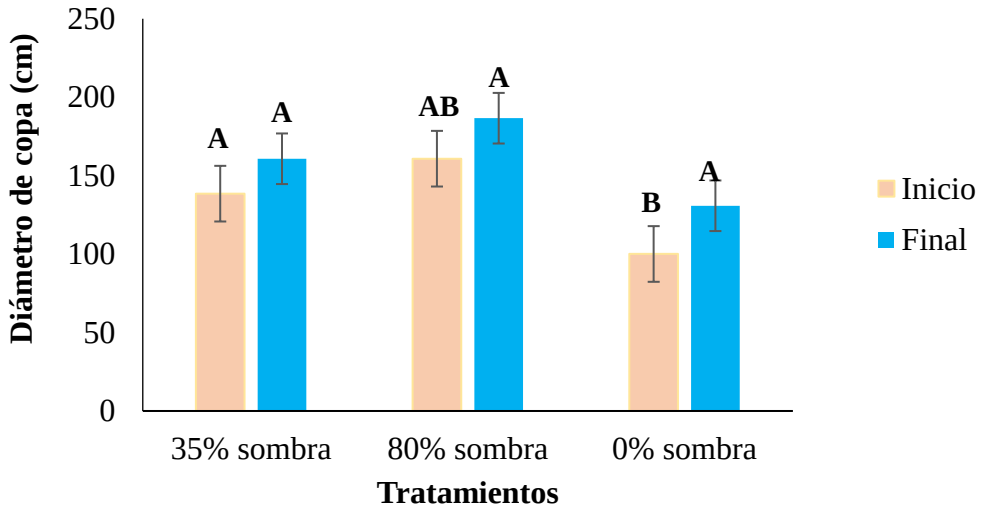


Figura 5. Diámetro de copa influenciada por tres niveles de sombra en el cultivo de cacao CCN-51 al inicio y final del experimento. *Letras diferentes verticalmente indican diferencia significativa, Tukey ($p<0,05$), y letras iguales no existe diferencia significativa (p valor > 0,05)

6.1.3.1.Incremento del diámetro de copa

En cuanto al incremento del diámetro de copa del factor sombra no se encontraron diferencias estadísticas significativas teniendo un valor medio de 0,33 como lo indica la tabla 2.

Tabla 2: Incremento del diámetro de copa del factor sombra.

% Sombra	Incremento del diámetro de copa (cm)	TCA $cm^2día^{-1}$
0	30,71	0,29
35	34,1	0,33
80	26,25	0,25

6.1.4. Índice de área foliar

No presentaron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) en los datos obtenidos del área foliar los rangos varían entre 1,02 y 0,52 (Tabla 3).

Tabla 3: Área foliar del cacao

Tratamientos	Área foliar
T2	1,02
T3	0,88
T1	0,52

6.1.5. Densidad estomática

Se puede observar que no existen diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$), la densidad de estomas mm^{-2}, a los 84 DDT, el tratamiento de 35 % de sombra obtuvo un número de estomas de 924,65, en comparación a los tratamientos de 35 y 80% (Tabla 4).

Tabla 4: Densidad de estomas (estomas mm^{-2}) en cacao CCN-51.

Trat. (%sombra)	# de estomas mm^{-2}
0	919,02
35	924,65
80	911,48

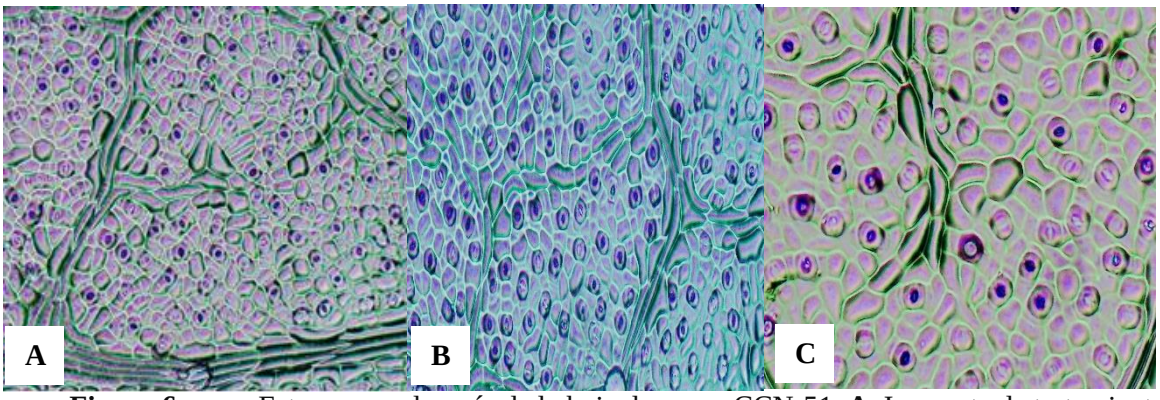


Figura 6. Estomas en el envés de la hoja de cacao CCN-51. **A**. Impronta de tratamiento de 0% de sombra (T1); **B**. Impronta de tratamientos de 35% de sombra (T2); **C**. Impronta de tratamiento de 80% de sombra (T3).

6.1.6. Concentración de clorofila

Los resultados muestran que si existen diferencias estadísticamente significativas). Referente a la concentración de clorofila se puede apreciar que el T3 presentó una

concentración de clorofila mayor de 63,62, el T2 con 56,73 en contraposición al 0 % que mostró concentración de 44,34 (Figura 7).

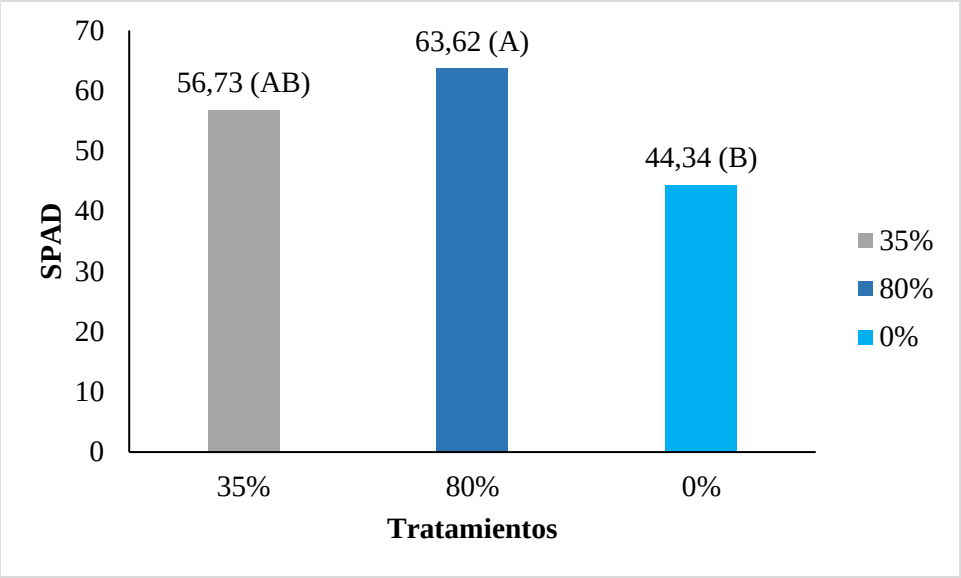


Figura 7. Concentración de clorofila en cacao CCN-51, bajo tres niveles de sombreo: 0 %, 35 % y 80 %. Letras diferentes verticalmente indican diferencia significativa, Tukey (p<0,05).

6.2.Rendimiento y análisis bromatológicos

6.2.1. Longitud y ancho del fruto

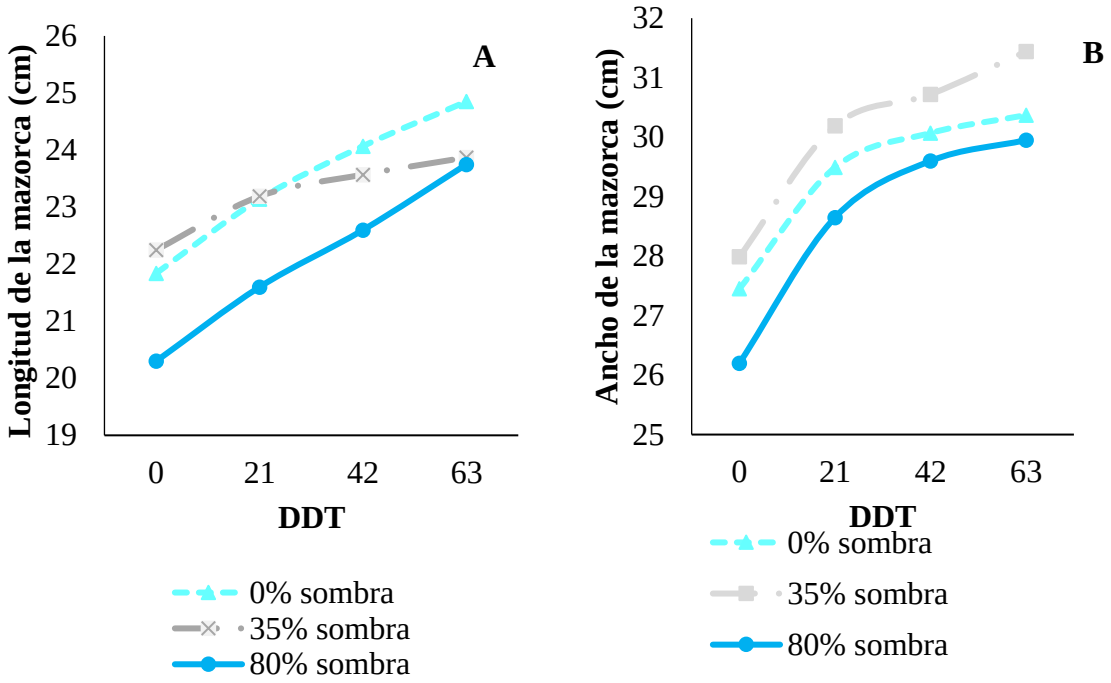


Figura 8. **A**. Longitud de la mazorca. **B** y ancho de la mazorca

En lo que respecta a la longitud de las mazorcas de cacao no existen diferencias estadísticamente significativas (p >0,05), a los 0 DDT presentó un valor medio inicial de 20,3, 21,84 y 22,5 cm en los tratamientos 0 %,35 % y 80 % de sombra respectivamente, por lo que se tomó la diferencia entre el valor inicial y el final para analizar los datos, a los 84 días mostraron un rango de 23,75 a 24,85. Los tratamientos mostraron una longitud de mazorca similar (Figura 8 A); no obstante, se puede apreciar que en el ancho inicial de la mazorca tuvieron un rango de 26,2 a 27,99 y el ancho final estuvo en un rango de 29,95 y 31,44 donde no se mostraron diferencias estadísticas en el ancho de la mazorca (Figura 8 B).

6.2.2. Peso del fruto

En cuanto al peso de la mazorca no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. En el T3 presentó un peso de 487,20 g, en el T2 tuvo un peso de 487,20 g y en el T3 tuvo un peso de 548, 88 g (Figura 9).

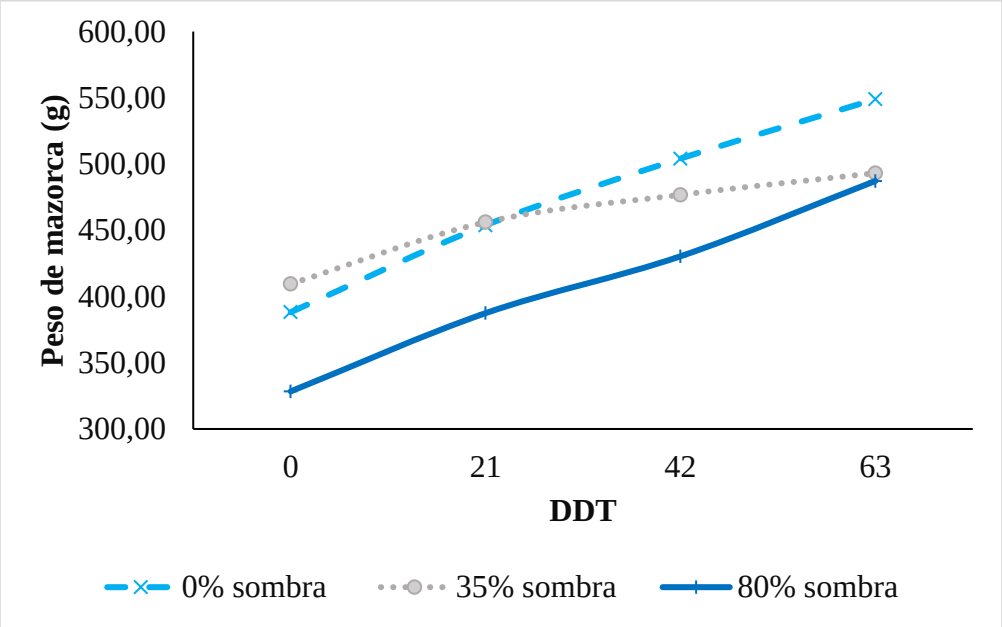


Figura 9. Pesos promedios de la mazorca de cacao clon CCN-51 bajo tres niveles de sombra.

6.2.3. Número de semillas por frutos

En cuanto a la variable de número de semillas por mazorca, esta no se vio afectada por los niveles de sombra aplicados, ya que no presentaron diferencias estadísticas entre sus

tratamientos (Figura 10). Sin embargo, se puede apreciar que el T2 fue ligeramente mayor a los valores del T1 y T3.

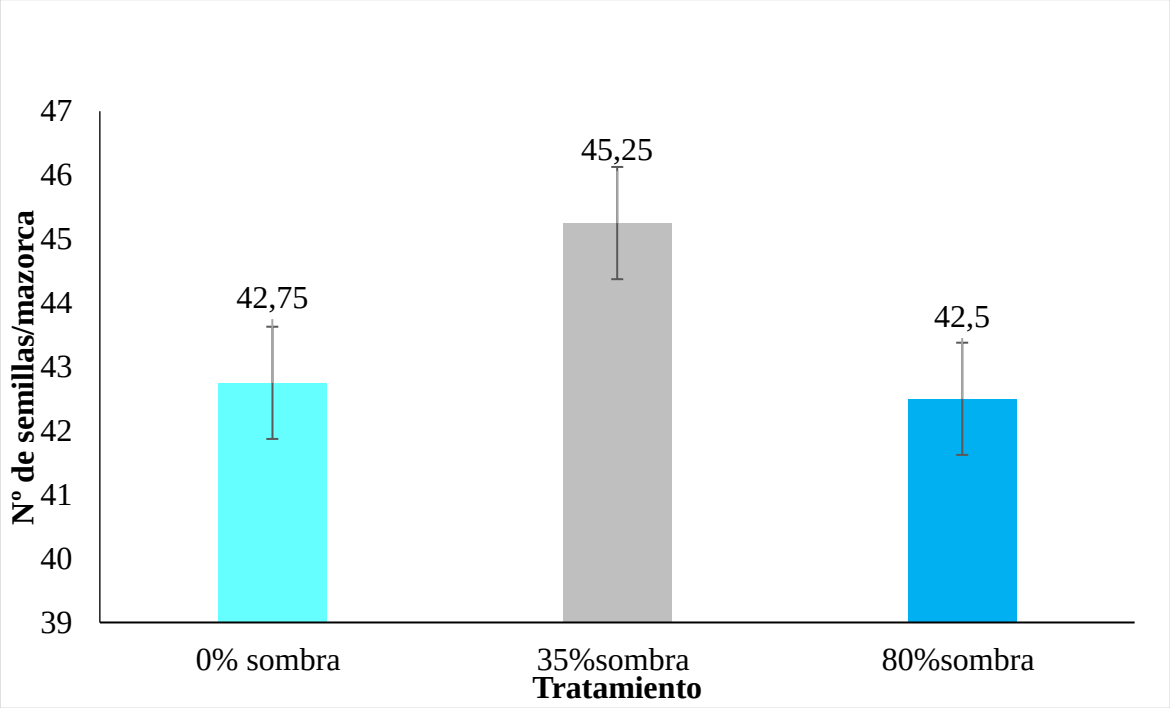


Figura 10. Número de semillas de mazorcas de cacao clon CCN-51**.**

6.2.4. Número de mazorcas por árbol

En la variable de número de frutos no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos: el T1 y T2 presentaron el mismo número de frutos, mientras que el T3 presentó un total de 2 frutos (Figura 11).

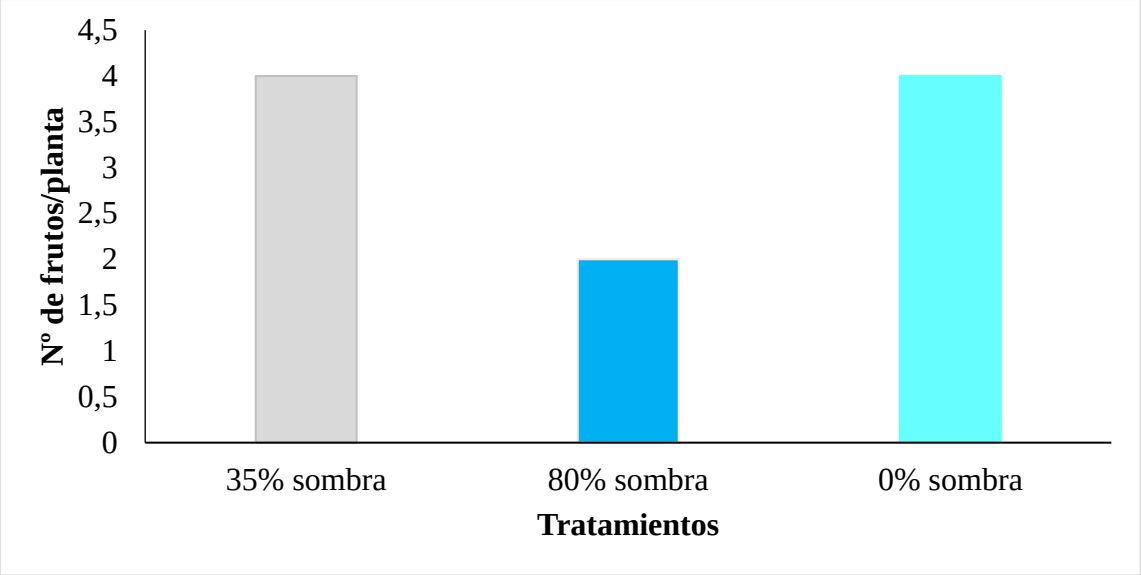


Figura 11. Número de frutos de cacao clon CCN-51**.**

6.2.5. Rendimiento estimado

El rendimiento kg/planta (Tabla 3), no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo, el 0 % de sombra tiene un rendimiento de 1,10 en comparación del 80 % con un rendimiento de 0,49 kg/ planta.

Tabla 5: Rendimiento de cacao CCN-51 en Kg/planta

Tratamientos/ Sombra	Rendimiento kg/planta
T1 0% sombra	1,10
T2 35% sombra	0,99
T3 80% sombra	0,49

6.2.6. Análisis bromatológicos

En los resultados de los análisis bromatológicos de la mazorca de cacao (Tabla 6), no pudieron ser sometidos a ANOVA debido a que no existió muestra suficiente debido a que las plantas estaban entrando en etapa productiva. En lo que respecta a la humedad inicial el T1 obtuvo una mayor humedad, de 50,42 %, a comparación del T2 con una humedad de 37,66 %; en la humedad total los rangos varían entre 95 y 94,76 %; en lo que respecta a la ceniza se encontró en un rango entre 2,96 y 3,62 %, el % de grasa a los 88 días DDT el T1 obtuvo un menor porcentaje de grasa con 23,6, a comparación con el T3 que obtuvo un porcentaje de 31,31. Seguidamente tenemos la proteína que se encontró en un rango entre 2,06 y 2,26 %. Por otro

lado, los grados brix se encuentran en un rango de 16,9 y 15,2 %, y en la acidez el T3 obtuvo una acidez mayor de 1,048, a comparación con el T1 y T2.

Tabla 6: Análisis bromatológicos de cacao clon CCN-51

Tratamiento	%Humedad Inicial	%Humedad Total	%Ceniza	%Grasa	%Proteína bruta	%Grados Briz	%Acidez
0% de sombra	50,24	94,76	3,62	23,61	2,22	16,9	0,616
35% de sombra	37,66	95	2,96	28,19	2,26	15,2	0,634
80% de sombra	42,93	94,9	3,05	31,31	2,06	16,6	1,048

7. Discusión

En este proyecto se logró evaluar diferentes niveles de sombra del clon CCN51 de cacao (*Theobroma cacao* L.), según variables vegetativas y de rendimiento en la estación experimental El Padmi en la provincia de Zamora Chinchipe. Los resultados del estudio muestran que el uso de sombra no tiene efectos estadísticamente significativos en las diferentes variables, diámetro del tallo, Área de sección transversal del tronco, longitud y ancho de mazorca, peso del fruto, número de semillas por fruto, número de mazorcas por árbol, esto pudo deberse a la fase de fructificación en que se encontraba el cultivo, donde ya tenía la mayoría de mazorcas desarrolladas. Respecto a la variable diámetro de copa, se encontraron diferencias significativas. Según Carvalho *et al*. (2001), las condiciones del suelo y clima de esta región cacaotera se consideran buenas para el cultivo de cacao, pero el rendimiento no fue satisfactorio debido a la alta incidencia de escoba de bruja que presentaba la plantación de cacao.

En cuanto al diámetro del tallo, no se evidenciaron diferencias en los tres tratamientos de sombra (Figura 3). En acuerdo con Gómez (2002), quién realizó una investigación en el cultivo de cacao en donde se evaluó el efecto de diferentes intensidades de luz sobre el intercambio gaseoso y desarrollo del cacao criollo, probando distintos niveles de sombreo de 0, 40, 60 y 80 %, en donde el valor más alto de diámetro de tallo fue para los tratamientos de 20% y 40%, y los menores a 60 % de luz y plena exposición solar. No obstante, la similitud de los diámetros entre los tratamientos puede deberse a que son plantas de un mismo clon, en este caso el CCN51, los cuales presentan poca variabilidad entre sus características.

Para la variable ASTT tampoco mostró diferencias significativas y los valores fueron desde 15,98 cm^2 a 22,28 cm^2 para el T1 y T2 respectivamente, la uniformidad de los datos podría deberse a que la acumulación de fotoasimilados en xilema es más lenta en los primeros años, por destinarse a otros órganos de interés de la planta (Ofori *et al*., 2017).

En cuanto a la variable del diámetro de copa, los tres tratamientos presentaron al inicio diferencias significativas, mientras que al final del experimento no presentaron diferencias significativas con un diámetro de copa de 130,79 a los 186,60 cm en los T1 y T3, donde se asume que la sombra influye mayormente en el clon CCN51 debido a la a climatización del cacao ya que en el estudio realizado por Tezara *et al*. (2015) se concluyó que los clones de cacao ecuatoriano estudiados, cultivados a plena exposición de luz solar, redujeron significativamente el área foliar, mostrando aclimatación lumínica debido a que la radicación

solar es reducida en gran medida por las condiciones climáticas y de relieve de la zona, pero Chamorro (1952) nos señala que con la disminución del sombrío, aumenta la intensidad transpiratoria y plantas a pleno sol evaporan y transpiran un 50 % más de agua, aproximadamente, que plantas bajo un sombrío del 90 %.

El índice de área foliar de los tres tratamientos no presentó diferencias significativas, los valores del T1, T2 van desde 0,52 y 1.02 respectivamente, lo cual indica que el efecto de la sombra no incide en esta variable. En contraposición a Salazar *et al*. (2016) quienes realizaron un estudio en variedades ecuatorianas de cacao clon CCN51 sometidos a alta luminosidad bajo condiciones climáticas amazónicas colombianas. Estos clones mostraron incrementos de hasta el 3,5 % en la tasa fotosintética neta, por consiguiente, se registró un aumento en el crecimiento y el rendimiento de las plantas. Así mismo el área foliar aumenta y el grosor de la hoja disminuye es una estrategia adicional para hacer frente a la baja cantidad de fotones recibidos en la hoja. En este sentido, en mayor área foliar exhibido por las plantas de cacao cultivadas puede mejorar la capacidad fotosintética para una absorción más eficiente y optimización de la captura de fotones.

Respecto de la concentración de la concentración de clorofila. La presencia de un contenido mayor en el tratamiento de mayor sombreo se asemeja a los resultados obtenidos por Ardisana *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 & Valle, 2007; Encalada, 2007). 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). Por otra parte, las hojas sombreadas pueden presentar mayor contenido de clorofila para tratar de incrementar la fotosíntesis, mientras que las hojas en pleno sol envejecen y mueren rápido como resultado del aumento de temperatura y la transpiración excesiva (Almeida & Valle, 2007).

Por otro lado, en lo que se refiere a la densidad de estomas mm^{-2} al finalizar el ensayo no existieron diferencias significativas entre los tratamientos, obteniendo valores similares entre los mismos (911,48 a 924,65 mm^2). Los promedios obtenidos en este estudio casi similares a

los reportados por (Zambrano, 2017), quien mostró promedios de 877,50 estomas, en el mismo clon en Quevedo-Ecuador, región costa. Esta pequeña diferencia del CCN51 en diferentes regiones, se puede deber a que varía frente a diferentes condiciones ambientales.

En cuanto a la longitud de la mazorca no presentaron diferencias significativas esto concuerda a lo presentado por Pérez & Freile (2017) en clones CCN-51 donde alcanzó 24 cm la mazorca en la fase de madurez fisiológica, en vista de que algunas mazorcas aún faltaban de completar su fase de desarrollo. En el mismo periodo su peso final fue de 487,20 y 548,88 g ya que algunas mazorcas faltaban desarrollarse las semillas y la placenta de la mazorca. Peso inferior al encontrado Pérez & Freile (2017) donde la mazorca al completar la madurez fisiológica alcanzó 810 g. En cuanto al número de semillas se alcanzó un promedio de 45,25 en el T2. La presencia de un número mayor de semillas en el tratamiento medio de sombreo se asemeja a los resultados obtenidos por Cirilo *et al*. (2007) en el Estado de Miranda, Venezuela, los materiales recolectados registraron más de 30 semillas por fruto.

En el número de mazorcas formadas, a los 66 DDT, estuvo entre 2 y 4 frutos por cada repetición, número de mazorcas menor presentado por Pérez & Freile (2017) en clones CCN51 donde alcanzó 7 frutos por cada planta; esto en vista de que se presentó una enfermedad fúngica que atacó a todas las plantas causada por el basidiomycete *Moniliophthora roreri* (Delgado & Suárez, 2013)

En cuanto al rendimiento no se hallaron diferencias significativas los datos se mantuvieron entre 0,49 a 1,10 kg/ha en el T3 (80 % de sombra) y T1 (0 % de sombra) respectivamente bajos, comparándose así a lo mencionado por Abdulai *et al*. (2018) en su estudio donde a los 364 DDT observó efectos en los rendimientos obteniendo 849 kg ha^{-1} año con un sistema de sombra leve y el que se encontraba sin sombra obtuvo 288 kg ha^{-1} año, siendo significativamente diferente. Así mismo el promedio, en el mundo, es de 550 kg/ha, en Ecuador con el clon CCN51 se alcanzan 2,0 t/ha, mientras que en Indonesia se reportan hasta a 3,0 t/ha. La principal estrategia para obtener estos rendimientos es ubicar el cultivo en óptimas condiciones agroecológicas (Ramirez, 2012)

En cuanto a las variables bromatológicas; la humedad en la almendra del cacao clon CCN51, los valores se encuentran en un rango entre 37,66 a 50,24 %, los porcentajes obtenidos coinciden con Zambrano *et al.* (2010) donde se encontró un adecuado contenido de humedad en cacao Criollo merideño San Juan (CMSJ) en condiciones normales de luminosidad y

fertilización donde las pérdidas de las mismas durante la etapa después de la cosecha fueron próximas al 53 % del contenido inicial en todas las muestras de cacao criollo.

En el porcentaje de ceniza los valores entre los tres tratamientos se mantienen entre 2,96 a 3,62 en el (T2) y el (T1), lo cual son superiores con otros estudios, según Andrade *et al*. (2019) en su estudio los resultados con respecto al contenido de ceniza si existió diferencia significativa, entre los cultivares de cacao CCN51, siendo superior el material CCN51 de Ecuador con 2,73 % , y el menor para el CCN51 de Perú con 2,22 %; otra investigación reporta valores de ceniza en cacao en Mérida (Venezuela), mayores con 2,96 % (Lares *et al*., 2012). Esto puede deberse que la variedad CCN51 presenta contenidos variables dependiendo de la zona en la que se encuentre y estado de madurez del fruto (Perea *et al*., 2011).

El contenido de grasa obtenido en nuestro estudio bajo diferentes niveles de sombra fue de 23,61 % y 31,31 del T1 y T3 respectivamente en el cacao CCN51. Los datos obtenidos son similares a un estudio realizado por Castro *et al*. (2017), donde se obtuvo un porcentaje de grasa menor de 26 % en un SAF en cacao Nativo en la localidad de Chulucanas, Piura-Perú, donde determinó que la concentración puede variar por factores como la exposición a la temperatura, la fermentación, el secado o los efectos debido al contenido de grasa en la composición siendo porcentajes bajo ya que el contenido de grasa usualmente varía del 50 al 55% en cacao fresco, estando constituida principalmente por glicéridos como ácido oleico, palmítico y esteárico. Así como en el estudio realizado en el Cacao Trinitario- Laurel en Quevedo con un porcentaje alto de 51,11 %, donde el alto contenido está relacionado con los polifenoles es decir que entre las variedades varia este contenido ya que en algunas semillas se puede encontrar aproximadamente 2/3 de la cantidad de poli fenoles en cacaos.

En el porcentaje de proteína los valores en los tres tratamientos se mantienen entre 2,06% y 2,26 %. En el T3 y T2 respectivamente estos valores son bajos comparados a los resultados de Castro *et al*. (2017), obtuvo resultados de proteína de 6,25 % en el Cacao Criollo sin diferencias significativas en sus resultados, evaluaciones se realizaron en el Laboratorio de Investigación del Instituto Tecnológico de la Producción – ITP, en Lima, Perú. Estos contenidos variables pueden deberse de la zona en la que se encuentre y estado de madurez del fruto, así como la variedad CCN51 la cual presento 14 % de proteína (Perea *et al*., 2011).

Así mismo los grados Brix se encuentran en un rango de 15,2 y 16,9 % en el T2 y T1 en el cacao clon CCN51, datos que se asemejan a los que se encontraron en un estudio de 14 a 18 grados brix, en el clon CCN51, procedente del caserío china alta, distrito de Huarango,

provincia de San Ignacio en Perú (Mijahuanca & Cruz 2020). Lo cual se encuentra en una línea buena de aceptación donde para parámetros de calidad se revisa el contenido de azúcar menores a 15 Brix en caso no cuente con los grados Brix adecuados, la calidad final del cacao se verá afectada en aspectos como: mayores valores en las notas de astringencia y amargor, poco aroma y en algunas ocasiones se altera el sabor de la manteca acidificándola (Cruz *et al*., 2013).

En el porcentaje de acidez los valores en los tres tratamientos se mantienen entre 0,616 a 1,048 en el T1 y T3 respectivamente datos inferiores a los obtenidos por Andrade *et al*. (2019), en el clon CCN51 y ICS 6 con 2,05 % y 2,49 % respectivamente, esta diferencia puede ser debido al origen, la pos cosecha y extracción del mucilago. Estudios realizados según Solórzano et al. (2021) en características de la acidez como parámetro químico de calidad en muestras de cacao fino y ordinario de producción nacional durante la fermentación encontró acidez entre 1,2 y 1,6 %; recalca que para obtener una acidez óptima en la almendra es muy importante un buen manejo de la fermentación, ya que durante este proceso los ácidos acético y láctico producidos en la pulpa son difundidos hacia el cotiledón, aumentando la acidez de la fracción interna de la almendra.

8. Conclusiones

- No se encontraron diferencias significativas en las variables vegetativas evaluadas como, el diámetro del tallo, ASTT, índice de área foliar, densidad estomática, el desarrollo fue similar de manera general en todos los tratamientos bajo sombra.
- Existieron diferencias significativas en lo que respecta al diámetro de copa al inicio de la aplicación de los tratamientos, siendo el T1 el menor y el T3 el mayor.
- En lo que respecta a la concentración de clorofila si se encontraron diferencias significativas siendo el T3 mayor de 63,62, en contraposición al 0% que mostró concentración de 44,34.
- La aplicación de sombra en el cacao no afectó los parámetros productivos como la longitud y ancho, peso, número de semillas, y número de mazorca por árbol, ni composición química de la semilla o almendra.
- En la variable de rendimiento no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos donde se aprecia que el T1 (0 % de sombra) tuvo un rendimiento casi similar a los tratamientos con sombra, evidenciando la poca participación de la sombra.

9. Recomendaciones

- Para el cacao CCN51 en zonas de la Amazonia Sur podría no ser necesaria la utilización de sombra en etapas de entrada en producción debido a que presentan en general crecimiento y rendimiento similar en condiciones de sombrío o plena luz.
- Extender las evaluaciones de rendimiento por al menos dos temporadas productivas más para tener datos más concretos sobre el sombreo

10. Bibliografía

Abdulai, I., Jassogne, L., Graefe, S., Asare, R., Van Asten, P., Läderach, P., & Vaast, P. (2018). Characterization of cocoa production, income diversification and shade tree management along a climate gradient in Ghana. *PLOS ONE*, *13*(4), e0195777. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195777

Agudelo-Castañeda, G. A., Cadena-Torres, J., Almanza-Merchán, P. J., & Pinzón-Sandoval, E. H. (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), 223-232. https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i1.7341

Almeida, A.-A. F. de, & Valle, R. R. (2007). Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, *19*(4), 425-448. https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400011

Alvaro Gómez. (2002). *Efecto de diferentes intensidades de luz sobre el intercambio gaseoso y desarrollo del Cacao Criollo Guasare.* Universidad de los Andes.

Andrade, J. A., Rivera-García, J., Chire-Fajardo, G. C., & Ureña-Peralta, M. O. (2019). Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao (Theobroma cacao L.) de Ecuador y Perú. *Enfoque UTE*, *10*(4), 1-12. https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n4.462

ANECACAO. (2017). *30 años dejando en alto el nombre del CACAO ECUATORIANO*.

AOAC. (2001). *Organización de métodos analíticos*. http://www.eoma.aoac.org/methods/info.asp?ID=32924

AOAC. (2016). *Official methods of analysis of AOAC International*. 20 ed. http://www.eoma.aoac.org/

Arvelo, M. A., Delgado, T., Maroto, Steven, Rivera, Javier, Higuera, Inocencio, Navarro, Alejandra, Inter-American Institute for Co-operation in Agriculture, Oficina en Costa

Rica, & Maroto, S. (2016). *Estado actual sobre la produccion y el comercio del cacao en América*.

Chamorro, R. (1952). *Contribucion al problema del sombrio en cacao*. Art. 1.

Climate-Data. (2019). *Clima Yantzaza Ecuador*. https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-zamora-chinchipe/yantzaza-25493/

Cuenca-Cuenca, E. W., Puentes-Páramo, Y. J., & Menjivar-Flores, J. C. (2019). Efficient use of nutrients in fine aroma cacao in the Province of Los Ríos-Ecuador. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, *72*(3), 8963-8970. https://doi.org/10.15446/rfnam.v72n3.74862

Del Rosario Castro, M., Hernández, J. A., Marcilla, S., Córdova, J. S., Solari, F. A., & Chire, G. C. (2017). EFECTO DEL CONTENIDO DE GRASA EN LA CONCENTRACIÓN DE POLIFENOLES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE Theobroma cacao L. «CACAO». *Ciencia e Investigación*, *19*(1), 19-23. https://doi.org/10.15381/ci.v19i1.13623

Delgado Arce, J. C., & Suárez Capello. (2013). *Moniliasis del cacao*. Fundación para el Desarrollo Agropecuario.

Department of Bromatological Analysis, Faculty of Pharmacy, Federal University of Bahia, Salvador, Bahia, Brazil, Moreau Cruz, J. F., Bacelar Leite, P., Eduardo Soares, S., & da Silva Bispo, E. (2013). Assessment of the fermentative process from different cocoa cultivars produced in Southern Bahia, Brazil. *African Journal of Biotechnology*, *12*(33), 5218-5225. https://doi.org/10.5897/AJB2013.12122

Estrada, M., Romero, X., & Moreno, J. (2011). *Guía técnica del cultivo de cacao manejado con tecnicas agroecológicas*. 22.

Gutierrez, Yojan, Lozano, Harrison, & Jiménez, Diego. (2015). *Ventajas y desventajas de cultivos de Coffea arabica L. Y Theobroma cacao L. bajo sistemas agroforestales* (Vol. 1).

Héctor Ardisana, E. F., Torres García, A., Fosado T´éllez, O., Álava Álava, J., Sancán Pin, G., & León Aguilar, R. (2018). Contenido de clorofilas totales en doce clones de cacao (Theobroma cacao L.). *La Técnica: Revista de las Agrociencias. ISSN 2477-8982*, *20*, 11. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i20.1324

INEN. (2013). *CENIZA INEN-AOAC*.

Infocacao. (2015). *Ciencia y tecnología para los cacaoteros*. http://www.fhia.org.hn/descargas/proyecto_procacao/infocacao/InfoCacao_No5_Dic_2015.pdf

Jaimez, R. E., Amores Puyutaxi, F., Vasco, A., Loor, R. G., Tarqui, O., Quijano, G., Jimenez, J. C., & Tezara, W. (2018). Photosynthetic response to low and high light of cacao growing without shade in an area of low evaporative demand. *Acta Biológica Colombiana*, *23*(1), 95-103. https://doi.org/10.15446/abc.v23n1.64962

Lares, Mary, Guitierrez, Rafael, Pérez, Elevina, & Álvarez, Clímaco. (2012). *Efecto del tostado sobre las propiedades físicas, fisicoquímicas, composición proximal y perfil de ácidos grasos de la manteca de granos de cacao del estado Miranda, Venezuela*. *12*(2), 439-446.

Loor-Solórzano, R. G., Amores-Puyutaxi, F. M., Vasco-Medina, S. A., Quiroz-Vera, J. G., Casanova-Mendoza, T. de J., Garzón-Catota, A. I., Sotomayor-Cantos, I. A., Jiménez-Barragán, J. C., Tarqui-Freire, O. M., Rodríguez-Zamora, G. A., Quijano-Rivadeneira, G. C., Plaza-Avellán, L. F., Guerrero-Castillo, H. E., & Zambrano-Flores, F. G. (2019). INIAP-EETP-800 'AROMA PICHILINGUE', NUEVA VARIEDAD

ECUATORIANA DE CACAO FINO DE ALTO RENDIMIENTO. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *42*(2), 187-189. https://doi.org/10.35196/rfm.2019.2.187-189

Mereles, Lorena & Martinez,Karina. (2022). *Fundación facultad de ciencias químicas-fundaquim facultad de ciencias quimicas-fcq proyecto 14" Manual de procedimientos analiticos para el control de calidad de nueces de macadamia secas este proyecto fue financiado por conacyt a través del programa prociencia con recursos del fondo para la excelencia de la educación e investigación-feei del fonacide.*

Mijahuanca, Aylwin & Cruz, Yovin. (2020). *Efecto del mucílago de cacao (Theobroma cacao) en el crecimeinto poblacional de abejas (Apis mellifera)* [Universidad Nacional de Jaén]. https://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/107/1/Mijahuanca_EA_Cruz_SY.pdf

Ofori, A., Padi, F. K., Akpertey, A., Adu-Gyamfi, P., Dadzie, M. A., & Amoah, F. M. (2017). Variability of survival and yield traits in cacao (*Theobroma cacao* L.) clones under marginal field conditions in Ghana. *Journal of Crop Improvement*, *31*(6), 847-861. https://doi.org/10.1080/15427528.2017.1391914

Ordonez, Espinosa, Suarez, Salazar, Rangel, Juan, Saavedra, David, & Orlando, Jesus. (2021). *Los sistemas agroforestales y la incidencia sobre el estatus hídrico en árboles de cacao* (Vol. 19).

Paredes, N. (2009). *Manual de cultivo de caca para la Amazonía ecuatoriana*.

Perea, J., Ramirez, Olga, & Villamizar, Arley. (2011). *Caracterización Fisicoquímica de materiales regionales de cacao Colombiano*. http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v9n1/v9n1a05.pdf

Pérez, G., & Freile, J. (2017). *Adaptabilidad de clones promisorios de cacao nacional (Theobroma cacao L.), en el cantón Arosemena Tola de Ecuador*. 8.

Puran Bridgemohan, Musa El Sharief Mohamed, Majeed Mohammed, Kimberly Singh, & Ronell Shamir Hemsley Bridgemohan. (2016). The Application of BBCH Scale for Codification and Illustrations of the Floral Stages of Caribbean Fine Cacao Theobroma cacao L. *Journal of Agricultural Science and Technology A*, *6*(1). https://doi.org/10.17265/2161-6256/2016.01.001

Quintana Fuentes, L. F., & Goméz Castelblanco, S. (2011). Perfil del Sabor del Clon CCN51 del Cacao (Theobroma cacao L.) Producido en Tres Fincas del Municipio de San Vicente de Chucurí. *Publicaciones e Investigación*, *5*(1), 45. https://doi.org/10.22490/25394088.594

Quiñones Galvez, J., Sosa, D., Demey, Jr., Alemán, S., Sosa, M., Parra, D., Móvil, O., Trujillo Sánchez, R., Capdesuñer, Y. K., Quirós, Y., Hernández, M., & Infante, D. (2015). Caracterización bioquímica de hojas de clones de Theobroma cacao y su relación con los tricomas. *Revista Colombiana de Biotecnología*, *17*(2), 33-43. https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v17n2.54265

Ramirez, Tito. (2012). *Situación de la producción de cacao en la provincia de Zamora Chinchipe:Línea base 2009*. *2*(1).

Sánchez, M. Á. A., León, D. G., Arce, S. M., López, T. D., & Rodríguez, P. M. (2017). *Manual Técnico del Cultivo de Cacao Prácticas Latinoamericanas*. 143.

Suárez, C., & Moreira, M. (2007). *Manual del cultivo de cacao*.

Suárez-Salazar, J. C., Rojas-Castillo, J. A., Duran-Bautista, E. H., & Ortiz-Cifuentes, N. (2016). Pigmentos fotosintéticos y conductancia estomática en ecotipos de copoazú (Theobroma grandi orum Willd. Ex. Spreng K. Schum.). *Agronomía Mesoamericana*, *28*(1), 199. https://doi.org/10.15517/am.v28i1.20814

Tezara, W, De Almeida, J, Valencia, E, Cortes, J, & Bolaños, M. (2015). *Actividad fotoquímica de clones élites de cacao (Theobroma cacao L.) ecuatoriano en el norte de la Provincia de Esmeraldas*. *4*(3), 37-51.

Tinoco, L., & Vargas, Y. (2018). *Primer Congreso Internacional Alternativas Tecnológicas para la Producción Agropecuaria Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana*. https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5427/1/Sistemas%20Agroforestales%20de%20Cacao%20Revisi%c3%b3n%20de%20Literatura%20Sobre%20el%20Efecto%20de%20la.pdf

Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Tuárez García, D. A., Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Fernández Escobar, Á. O., Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Torres Navarrete, Y. G., Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Vera Chang, J. F., & Universidad Técnica Estatal de Quevedo. (2021). Efecto de la fermentación de cacao (theobroma cacao L.), variedad nacional y trinitario, en cajas de maderas no convencionales sobre la calidad física y sensorial del licor de cacao. *Revista de Investigación Talentos*, *8*(2), 42-55. https://doi.org/10.33789/talentos.8.2.153

Villareyna, R. (2016). *Efecto de los árboles de sombra sobre el rendimiento de los cafetos, basado en perfiles de daño*. https://agritrop.cirad.fr/582061/1/Reporte%203_Sombra%20y%20rendimientos%20de%20caf%C3%A9.pdf

Zambrano, Alexis, Gómez, Álvaro, Ramos, Gladys, Romero, Carlos, Lacruz, Carlos, & Rivas, Eliana. (2010). *Caracterización de parámetros físicos de calidad en almendras de cacao criollo, trinitario y forastero durante el proceso de secado*. *60*(4).

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. UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO.

11. Anexos

Anexo 1 . Evidencias de Trabajo en campo

Anexo 1 ,imagen 1. Estructura de la malla sarán al 35 y 80% de sombra en el clon CCN-51

Anexo 1 ,imagen 2. Medición de la circunferencia del tallo

Anexo 1 ,imagen 3. Cosecha y etiquetado de mazorcas de cacao clon CCN51.

Anexo 1 ,imagen 4. Peso de mazorca y semillas del cacao Clon CCN51

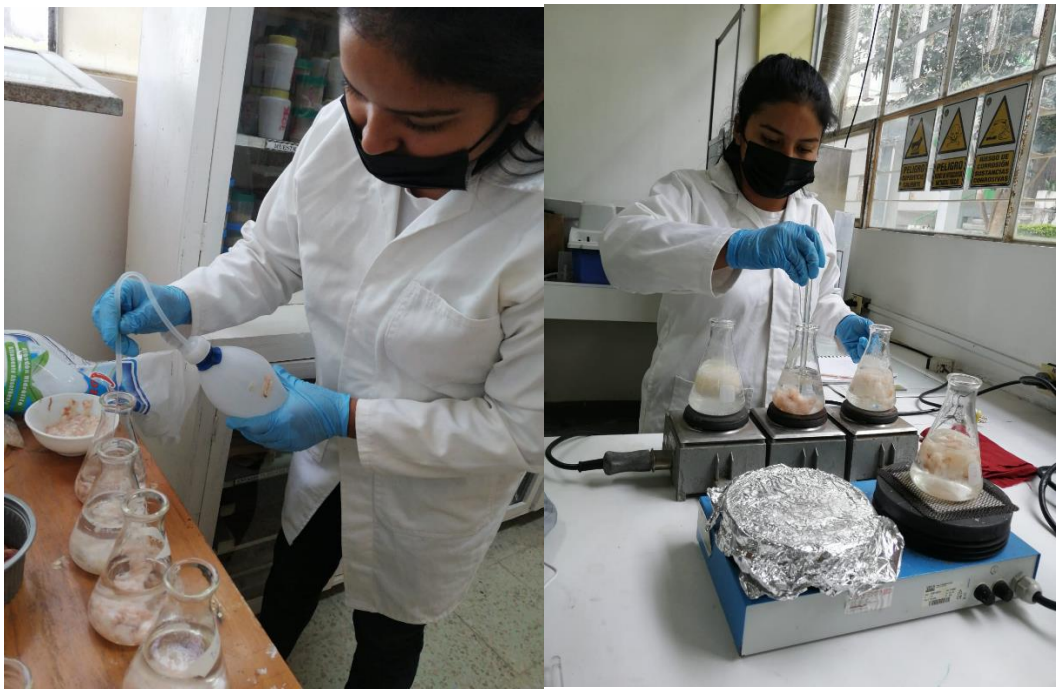
Anexo 1 ,imagen 5. Medición de concentración de clorofila

Anexo 2. Evidencias fotográficas realizadas en laboratorio

Anexo 2, imagen 1. Preparación de muestras para la visualización de estomas

Anexo 2, imagen 2. Peso de muestras de almendras secas al inicio y al final del ensayo

Anexo 2, imagen 3. Preparación de muestra para el cálculo de ºBrix del cacao CCN51.



Anexo 2, imagen 4. Preparación de muestras para el análisis bromatológico de la acidez.

Repetición	Tratamiento	promedio area por hoja cm2	promedio area por hoja m2	N° de hojas	Total de area hojas m2	total de area suelo m2	IAF
1	0%	317,0405672	0,031704057	111	3,519150296	14	0,25136788
2	0%	257,9833331	0,025798333	98	2,528236664	14	0,18058833
3	0%	282,3334959	0,02823335	182	5,138469625	14	0,36703354
4	0%	271,4525781	0,027145258	315	8,550756211	14	0,6107683
5	0%	365,3127308	0,036531273	520	18,996262	14	1,35687586
6	0%	203,0018493	0,020300185	300	6,09005548	14	0,43500396
7	0%	384,5686103	0,038456861	160	6,153097765	14	0,43950698
1	35%	251,5546867	0,025155469	303	7,622107006	14	0,54443621
2	35%	380,1214031	0,03801214	406	15,43292897	14	1,10235207
3	35%	310,4592754	0,031045928	580	18,00663797	14	1,28618843
4	35%	393,4537673	0,039345377	610	24,00067981	14	1,71433427
5	35%	346,781147	0,034678115	596	20,66815636	14	1,47629688
6	35%	68,48804514	0,006848805	11	0,07533685	14	0,0053812
1	80%	272,8400496	0,027284005	256	6,984705271	14	0,49890752
2	80%	378,0325245	0,037803252	407	15,38592375	14	1,09899455
3	80%	250,6023453	0,025060235	250	6,265058633	14	0,44750419
4	80%	333,4420879	0,033344209	655	21,84045676	14	1,56003263
5	80%	296,8618959	0,02968619	370	10,98389015	14	0,78456358
6	80%	408,5783209	0,040857832	300	12,25734963	14	0,87552497

Anexo 3. Datos del Índice de área foliar

		24/03/2022			15/04/2022			06/05/2022			17/06/2022			Nº frutos	rendimiento por	Rendimiento a
Sombra %	repetición	Longitud 1	ancho 1	Peso 1	Longitud 2	ancho 2	Peso 2	Longitud 3	ancho 3	Peso 3	Longitud 4	ancho 4	Peso 4	por planta	planta	kg/planta
0%	4	22,17	28,20	404,03	23,77	31,77	487,02	24,53	32,13	530,29	24,70	32,43	540,00	3	1646,64	1,65
0%	5	21,5	26,7	372,28	22,5	27,2	420,52	23,6	28	477,92	25	28,3	557,76	1	548,88	0,55
35%	3	21,7	29,7	381,63	22,7	30,2	430,62	23	30,7	446,04	23,3	31,5	461,81	1	493,16	0,49
35%	5	22,8	26,27	437,43	23,67	30,17	481,55	24,13	30,73	507,43	24,43	31,37	524,51	3	1479,49	1,48
80%	2	18	26,7	231,21	19,2	27,3	274,88	21	28,7	349,52	23	28,9	446,04	1	487,20	0,49
80%	6	22,6	25,7	425,55	24	30	499,95	24,2	30,5	511,19	24,5	31	528,36	1	487,20	0,49

Anexo 4. Datos de la longitud y ancho del fruto y su rendimiento.

MC-LASPA-2201-01

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS
Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua.
Tlfs. (02) 3007284 / (02)2504240
Mail: laboratorio.dsa@iniap.gob.ec

INFORME DE ENSAYO No: 22-0360

NOMBRE DEL CLIENTE: Gallardo Avendaño Maryuri Lizeth
PETICIONARIO: Gallardo Avendaño Maryuri Lizeth
EMPRESA/INSTITUCIÓN: Gallardo Avendaño Maryuri Lizeth
DIRECCIÓN: Padmi

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 16/05/2022
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 12:21
FECHA DE ANÁLISIS: 24/05/2022
FECHA DE EMISIÓN: 27/05/2022
ANALISIS SOLICITADO: SUELO 4

Análisis	Ph	N	P	S	B	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	Σ Bases	MO	C.O.*	Textura (%)				IDENTIFICACIÓN
Unidad		ppm	ppm	ppm	ppm	meq/ 100g	meq/ 100g	meq/ 100g	ppm	ppm	ppm	ppm				meq/ 100g	%	%	Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural	
																							Gallardo Avendaño Maryuri Lizeth Muestra 1
22-1335	5,57 Me Ac	155 A	31 A	15 M	0,9 B	0,48 A	15,85 A	2,17 A	6,1 M	5,8 A	297 A	1,3 B	7,31	4,47	37,19	18,51	11 A		39	39	22	FRANCO	

Análisis	Al+H*	Al*	Na*	C.E. *	N. Total*	N-NO3 *	K H2O*	P H2O*	Cl*	pH KCl*	IDENTIFICACION
	ppm	ppm	meq/ 100g		%	ppm	ppm	ppm	ppm		

OBSERVACIONES: * Ensayos no solicitados por el cliente

METODOLOGIA USADA

pH =	Suelo: Agua (1:2,5)	P K Ca Mg =	Olsen Modificado
S,B =	Fosfato de Calcio	Cu Fe Mn Zn =	Olsen Modificado
		B =	Curcumina

INTERPRETACION

pH			Elemento		
Ac =	Acido	N =	Neutro	B =	Bajo
LAc =	Ligeramente Acido	LAl =	Ligeramente Alcalino	M =	Medio
PN =	Prácticamente Neutro	Al =	Alcalino	A =	Alto
RC =	Requieren Cal			T =	Tóxico (Boro)

ABREVIATURAS

C.E =	Conductividad Eléctrica
M.O. =	Materia Orgánica

METODOLOGIA USADA

C.E. =	Pasta Saturada
M.O. =	Dicromato de Potasion
Al+H =	Titulación NaOH

INTERPRETACION

Al+H,Al y Na		C.E.				M.O y Cl	
B =	Bajo	NS =	No Salino	S =	Salino	B =	Bajo
M =	Medio	LS =	Lig. Salino	MS =	Muy Salino	M. =	Medio
T =	Tóxico					A =	Alto

Firmado electrónicamente por:
JOSE ALONSO LUCERO MALATAY
ANALISTA

Firmado electrónicamente por:
IVAN RODRIGO SAMANIEGO MAIGUA
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo
NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigido únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electronico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.
* Opiniones de interpretación ,etc que se indican en este informe constituye una guía para el cliente.

Anexo 5 Análisis de suelo

Anexo 5, figura 1. Análisis de suelo realizado en la Estación Experimental Santa Catalina

Anexo 6. Certificación de traducción del Abstract.

UNIDAD EDUCATIVA "LUIS FELIPE BORJA DEL ALCÁZAR"

Av. Alonso de Mercadillo, Barrio Bombuscaro
Teléfono: 072605843 / Email. 19h00030.institucion@educacion.gob.ec
Zamora – Ecuador

Zamora a, 16 de enero de 2023

GABRIELA ELIZABETH PUCHAICELA LEÓN

COORDINADORA DEL AREA DE LENGUA EXTRANJERA UELFBA

C E R T I F I C A

El haber realizado la traducción del Resumen de tesis denominado: " "Evaluación de tres niveles de sombra, sobre el rendimiento en cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN51 en la provincia de Zamora Chinchipe, sector "El Padmi", perteneciente a la señorita Dayana Alexandra Cevallos Cuenca, con número de cédula 1150020681

Lo certifico en honor a la verdad, autorizando al portador hacer uso del presente en lo que considere necesario.

Atentamente,

Mg. GABRIELA ELIZABETH PUCHAICELA LEÓN

COORDINADORA DEL AREA DE LENGUA EXTRANJERA UELFBA

Mg. Gabriela E. Puchaicela L.
EFL TEACHER
C.I.: 1103756316
SENESCYT: 1050-2021-2321338

Luis Felipe Borja School
English Area
"ZAMORA - ECUADOR"