



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Agronomía

**Efecto de tres niveles de sombra en el crecimiento y rendimiento del cacao
(*Theobroma cacao* L.) clon CCN51 en el Padmi, Zamora Chinchipe.**

Trabajo de Integración Curricular previo
a la obtención del título de Ingeniero
Agrónomo

AUTOR:

Manuel Geovanny Paqui Paqui

DIRECTOR:

Ing. Mirian Irene Capa Morocho PhD.

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 25 de febrero de 2023

Ing. Mirian Irene Capa Morocho PhD.

DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Efecto de tres niveles de sombra en el crecimiento y rendimiento del cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN51 en el Padmi, Zamora Chinchipe**, de la autoría del estudiante **Manuel Geovanny Paqui Paqui**, con **cédula de identidad Nro.1150720538**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Ing. Mirian Irene Capa Morocho PhD.

DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Manuel Geovanny Paqui Paqui**, declaro ser autor 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 de este. 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: 1150720538

Fecha: 25 de mayo de 2023

Correo electrónico: manuel.paqui@unl.edu.ec

Teléfono: 0959913218

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

Yo, **Manuel Geovanny Paqui Paqui**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Efecto de tres niveles de sombra en el crecimiento y rendimiento del cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN51 en el Padmi, Zamora Chinchipe**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero Agrónomo** 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 veinticinco días del mes de mayo de dos mil veintitrés.

Firma:



Autor: Manuel Geovanny Paqui Paqui

Cédula: 1150720538

Dirección: Urdaneta-Saraguro-Loja

Correo electrónico: manuel.paqui@unl.edu.ec

Celular: 0959913218

DATOS COMPLEMENTARIOS

Directora del Trabajo de Integración Curricular

Ing. Mirian Irene Capa Morocho PhD.

Dedicatoria

El logro obtenido es para mi Padre Manuel de Jesús Paqui que ya no lo puedo tener conmigo, pero sé que desde el cielo él me está viendo y estará muy orgulloso de mí. Esto lo hice por ti mi querido papá.

También le dedico toda mi familia. Principalmente a mi querida madre que siempre me apoya incondicionalmente.

Manuel Geovanny Paqui Paqui

Agradecimiento

En primer lugar, les agradezco a mi madre que siempre me ha brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Ella es que con su cariño me ha impulsado a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades. También quiero agradecer a mis hermanos, que a pesar de todo siempre están para ayudarme cuando los necesito.

Agradezco a mi Padre que está en el cielo, Dios y la Virgen del Cisne por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y angustia y por brindarme una vida llena de experiencias y aprendizajes. Me acompañaron a lo largo de mi carrera universitaria y seguirá siendo así.

Manuel Geovanny Paqui Paqui

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de figuras	ix
Índice de anexos	ix
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1. Generalidades del cacao	6
4.1.1. Origen y domesticación	6
4.1.2. Taxonomía	6
4.1.3. Importancia	6
4.2. Variedades de cacao	7
4.2.1. Criollo	7
4.2.2. Forastero	7
4.2.3. Trinitario	7
4.2.4. Nacional	8
4.3. Clones	8
4.3.1. Clon CCN51.....	8
4.3.2. Clon INIAP EETP-800	9
4.3.3. Clon INIAP EETP-801	9
4.4. Ecofisiología del cacao.....	9
4.4.1. Temperatura	9
4.4.2. Precipitación	10
4.4.3. Humedad relativa	10
4.4.4. Suelo	10
4.4.5. Luminosidad	10

4.4.6.	Radiación solar fotosintéticamente activa (PAR)	10
4.5.	Sombra en el crecimiento y rendimiento del cacao.....	11
4.5.1.	Sombra en el cacao	11
4.6.	Estudios sobre el uso de niveles de sombra en cacao	12
5.	Metodología.....	14
5.1.	Localización del estudio.....	14
5.2.	Tipo y alcance de la investigación	14
5.3.	Diseño experimental.....	15
5.4.	Metodología general.....	16
5.4.1.	Metodología para el primer objetivo.....	16
5.4.2.	Metodología para el segundo objetivo.....	18
5.5.	Análisis estadístico	19
6.	Resultados.....	20
6.1.	Variables de crecimiento.....	20
6.2.	Variables productivas.....	22
7.	Discusión.....	26
8.	Conclusiones.....	31
9.	Recomendaciones.....	32
10.	Bibliografía.....	33
11.	Anexos.....	39

Índice de figuras

Figura 1. Localización del lugar de la investigación. Obtenido de Sánchez (2022).....	14
Figura 2. Delineamiento del diseño experimental para la evaluación de tres niveles de sombra en el crecimiento y rendimiento del cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) clon CCN51 en el Padmi, Zamora Chinchipe.....	15
Figura 3. Diámetro de copa de cacao clon CCN51 a los 21 y 105 días después del inicio de la evaluación. Letras diferentes en un mismo tiempo indican diferencias estadísticas significativas, Tukey ($p < 0,05$). Barras verticales representan el error estándar...20	
Figura 4. Índice de Área Foliar de cacao clon CCN51 a los 21 y 105 días después del inicio de la evaluación. Barras verticales representan el error estándar.21	
Figura 5. Promedios del índice de clorofila contenida en hojas de cacao clon CCN51 en cada nivel de sombra evaluado durante todo el periodo de muestreo (21 a 105 días desde el inicio de la evaluación).21	
Figura 6. Radiación fotosintéticamente activa (PAR) a lo largo del día en el cacao CCN51 bajo diferentes niveles de sombra. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, Tukey ($p < 0,05$).22	
Figura 7. Número de mazorcas por planta de cacao clon CCN51 bajo diferentes niveles de sombra. Barras verticales representan el error estándar.....23	
Figura 8. Longitud de mazorcas por planta de cacao clon CCN51 con diferente nivel de sombra. Barras verticales representan el error estándar.....23	
Figura 9. Peso de la mazorca por planta de cacao clon CCN51 bajo diferentes niveles de sombra. Barras verticales representan el error estándar.....24	
Figura 10. Peso de las semillas secas de cacao clon CCN51 bajo diferentes niveles de sombra. Barras verticales representan el error estándar.....25	
Figura 11. Rendimiento estimado (t/ha) en cacao clon CCN51. Barras verticales representan el error estándar.....25	

Índice de anexos

Anexo 1, figura 1. Plantas de cacao con diferentes niveles de sombra.	39
Anexo 1, figura 2. Medición del índice de clorofila SPAD.....	39
Anexo 1, figura 3. Medición de la radiación fotosintéticamente activa (PAR).....	40
Anexo 1, figura 4. Número de frutos del tratamiento T1.	40
Anexo 2. Certificación de traducción del abstract.....	41

1. Título

Efecto de tres niveles de sombra en el crecimiento y rendimiento del cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN51 en el Padmi, Zamora Chinchipe.

2. Resumen

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) es de gran importancia socioeconómica en el mundo, Ecuador es productor de cacao fino de aroma el cual es requerido a nivel mundial por la calidad que este posee. Sin embargo, en la provincia de Zamora Chinchipe, la superficie cultivada no alcanza a satisfacer la actual demanda local y nacional, por lo que se requiere potenciar aquellas actividades agronómicas que mejoren el rendimiento. Por ello, se determinó el efecto de tres niveles de sombra en el crecimiento y rendimiento del cacao clon CCN51 en el Padmi, Zamora Chinchipe. Se utilizaron plantas de dos años y medio de edad, con una densidad de plantación de 3,5 m x 4 m, bajo un diseño en bloques completamente al azar, con tres tratamientos correspondientes a tres niveles de sombra: 0 % (T1), 35 % (T2) y 80 % (T3), y seis repeticiones. Las variables evaluadas fueron: diámetro de copa, área foliar e índice de área foliar, radiación fotosintéticamente activa, índice de clorofila SPAD, número de mazorca por planta, longitud de mazorca, peso de la mazorca, peso de las semillas secas y rendimiento estimado. El efecto de los tratamientos sobre las variables dependientes se evaluó mediante ANOVA y test de medias (Tukey) ($p < 0,05$). Los resultados señalaron que se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en variables diámetro de copa y radiación fotosintéticamente activa. El diámetro de copa aumento con la sombra, mientras la radiación disminuyó. Sin embargo, no se produjo un efecto significativo para las demás variables evaluadas. Las plantas de cacao pueden haberse adaptado a las condiciones de la Amazonía ecuatoriana, ya que, a pesar de reducir la radiación, no hay efecto de esta disminución en el crecimiento y producción del cultivo.

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

2.1. Abstract

The cultivation of cacao (*Theobroma cacao* L.) is of great socioeconomic importance in the world, Ecuador is a producer of fine aroma cacao which is required worldwide for the quality it possesses. However, in the province of Zamora Chinchipe, the cultivated area is not enough to satisfy the current local and national demand, so it is necessary to promote those agronomic activities that improve yield. Therefore, the effect of three levels of shade on the growth and yield of cacao clone CCN51 in Padmi, Zamora Chinchipe was determined. Two and a half years old plants were used, with a planting density of 3.5 m x 4 m, under a completely randomized block design, with three treatments corresponding to three shade levels: 0 % (T1), 35 % (T2) and 80% (T3), and six repetitions. The variables evaluated were: crown diameter, leaf area and leaf area index, photosynthetically active radiation, SPAD chlorophyll index, number of cobs per plant, cob length, cob weight, dry seed weight, and estimated yield. The effect of the treatments on the dependent variables was evaluated using ANOVA and means test (Tukey) ($p < 0.05$). The results indicated that significant differences were found between the treatments in variables crown diameter and photosynthetically active radiation. Crown diameter increased with shade, while radiation decreased. However, there was no significant effect for the other variables evaluated. The cacao plants may have adapted to the conditions of the Ecuadorian Amazon, since, despite reducing radiation, there is no effect of this decrease on the growth and production of the crop.

Keywords: *Theobroma cacao* L, growth, yield, shade, photosynthetically active radiation.

3. Introducción

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) es de gran importancia socioeconómica para el mundo, ya que es uno de los principales productos comercializados, sea en materia prima o en subproductos derivados. En América Latina el cultivo de cacao posee una histórica trayectoria vinculada a millones de personas, donde la mayoría de la producción proviene de la agricultura familiar, por lo que es fuente de ingresos económicos y favorece la redistribución de la riqueza (Sánchez, 2019).

Ecuador es productor de cacao fino de aroma el cual es requerido a nivel mundial por la calidad que posee, por lo que es necesario aumentar los rendimientos o superficie cultivada para poder competir con países vecinos que tienen similares condiciones climáticas que les permiten obtener igual calidad o superior. Uno de los principales factores que limitan la producción es el desconocimiento del nivel idóneo de la sombra sobre el crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad de los frutos. Es importante conocer que el exceso de sombra afecta el desarrollo del cultivo, principalmente su capacidad de florecer y producir mazorcas, y además crea un ambiente favorable para el desarrollo de ciertas plagas y enfermedades, las cuales afectarán la producción del cacao y, en consecuencia, su rentabilidad. Por lo tanto, el control adecuado de la sombra es muy importante para obtener buenos rendimientos en el cacao (Jaimez et al., 2018).

La producción ecuatoriana posee variedades nacionales finos de aroma y el CCN51 es cultivado para maximizar los rendimientos, es por lo que la popularidad del clon CCN51 se ha incrementado debido a su alta productividad, resistencia a enfermedades y adaptabilidad a una gran cantidad de regiones y entornos ecogeográficos (Remache et al., 2020). En consecuencia, se ha incrementado el número de ha sembradas con el popular clon, contribuyendo así al aumento regional de la producción de cacao. Al mismo tiempo, pequeños productores han puesto sus expectativas en el clon con la esperanza de lograr una importante reactivación de sus fincas (Chávez, 2018).

En la provincia de Zamora Chinchipe, la superficie cultivada de cacao es 1 271 ha, distribuidas en tres sistemas de siembra: el 62,42 % está bajo un sistema de siembra asociado principalmente con plátano, el 21,42 % en forma de monocultivos y el 16,32 % se establece bajo sistemas agroforestales. Cabe recalcar que la productividad del clon CCN51 en la Provincia de Zamora Chinchipe en el 2021 fue de 0,26 t de almendra seca/ha, muy por debajo de su potencial y de la producción de cacao a nivel nacional, cuyo valor fue de 0,56 t. Esta

producción limitada no alcanza a satisfacer la actual demanda local y nacional, por lo que se requiere potenciar aquellas actividades agronómicas que mejoren el rendimiento (INIAP, 2022).

Frente al desconocimiento de la sombra adecuada que ayude a potenciar el crecimiento y rendimiento del cultivo de cacao, en la presente investigación se plantea evaluar el efecto de tres niveles de sombra en el crecimiento y rendimiento del clon CCN51 en el Padmi, Zamora Chinchipe, a fin de determinar los niveles de sombra que den mejor respuesta. El estudio puede promover la recuperación del interés de las familias de agricultores a cultivar el cacao CCN51.

Por lo expuesto anteriormente, la investigación se relaciona con el objetivo número doce del desarrollo sostenible el cual es: “Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles”, objetivo encargado del consumo y la producción mundiales (fuerzas impulsoras de la economía mundial). El mismo está dentro de la línea de investigación institucional “Sistemas agropecuarios sostenibles para la soberanía alimentaria” y forma parte del proyecto de investigación de la UNL (09-DI-FARNR-2021), cuyo título es: “Comportamiento del cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo diferentes condiciones de luminosidad en etapa inicial de producción en la Región sur del Ecuador”.

A fin de cumplir el propósito de la presente investigación, se plantearon los siguientes objetivos:

3.1.Objetivo General

- Determinar el efecto de tres niveles de sombra en el crecimiento y rendimiento del cacao clon CCN51 en el Padmi, Zamora Chinchipe.

3.2.Objetivos Específicos

- Determinar el efecto que ejercen tres niveles de sombra sobre el crecimiento del cacao clon CCN51.
- Analizar el efecto de tres niveles de sombra en el rendimiento y sus componentes del cacao clon CCN51.

4. Marco teórico

4.1. Generalidades del cacao

4.1.1. Origen y domesticación

La historia sobre la domesticación inicial, los primeros usos y la eventual expansión por América Latina sigue sin estar clara. Debido a la importancia económica y ritual del cacao para las culturas precolombinas de Mesoamérica, se cree que pudieron haber sido introducidos y transportados a través de Centroamérica y México, y con ello aceleraron el proceso de domesticación y su uso ya sea como bebida o como alimento en forma de chocolate (Coe et al., 2013).

Sin embargo, investigaciones genómicas recientes muestran que su mayor diversidad genética ocurrió en los bosques húmedos de la Amazonía donde nacen los ríos Napo, Putumayo y Caqueta, tributarios del Amazonas, lo que sugiere que su uso más antiguo y su domesticación inicial se originaron ahí (Tomas, 2012).

4.1.2. Taxonomía

Según Umaharan, (2018) el cacao pertenece a la siguiente clasificación:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Malvales

Familia: Malvaceae

Género: *Theobroma*.

Especie: *Theobroma cacao* L.

4.1.3. Importancia

Ecuador posee un importante predominio con el cacao, más del 70 % de la producción mundial de cacao fino y de aroma se origina en el país, y se posicionó como el mayor productor de cacao en el mundo. La exportación ecuatoriana se estima que un 75 % es cacao fino de aroma, mientras que el restante 25 % pertenece a otras variedades consideradas cacao corriente, dentro de este grupo se encuentra el clon CCN51 (Guerrero, 2020).

El sector cacaoero contribuye con el 5 % de la población económicamente activa nacional (PEA) y el 15 % de la PEA rural, constituyendo una base fundamental de la economía familiar. La estratificación del cultivo de cacao en Ecuador está representada principalmente por pequeños productores, aproximadamente el 70 %, seguido por productores medianos con un 20 % y grandes productores que representan aproximadamente un 10 % (Córdova, 2021).

4.2. Variedades de cacao

4.2.1. Criollo

Son árboles genéticamente similares, que se cree que fueron domesticados por la civilización maya. Las plántulas jóvenes se pueden identificar por la presencia de cotiledones verdes y por la de los tallos de las hojas (peciolos) con una orientación horizontalmente opuesta. La variedad presenta bajo vigor, baja productividad y alta susceptibilidad a enfermedades, insectos y estrés, por lo que se cultiva menos (Afoakwa, 2010).

4.2.2. Forastero

Se refiere a cualquier árbol que no sea criollo o híbrido y que por lo general produzca semillas de color morado oscuro (Hebbar et al., 2011). es originario de la región amazónica y se cultiva principalmente en África occidental y el sudeste asiático. Forma el 95 % de la producción mundial de cacao (Fowler, 2009; Afoakwa, 2010; Afoakwa et al., 2012) y es la más utilizada por su mayor rendimiento que la variedad Criollo. Debido a la alta variabilidad genética dentro de este grupo, los tipos de Forastero exhiben una mayor variabilidad en la morfología del árbol y la fruta y, en general, son más vigorosos y menos susceptibles a enfermedades y plagas que los árboles criollos.

4.2.3. Trinitario

Clones o progenies de híbridos producidos originalmente en Trinidad entre árboles 'Criollo' y 'Forastero' que se originaron en la cuenca baja del río Amazonas (Willson, 1999). Sin embargo, luego se extendió a Venezuela, Ecuador, Camerún, Samoa, Sri Lanka, Java y Papúa Nueva Guinea (ICCO, 2012). Se cree que surgió por primera vez en la isla de Trinidad, después de que un huracán casi destruyera los cultivos criollos locales en 1727. Algunas variedades trinitarias producen granos de cacao con sabores especiales. Se considera que Trinitario es un tipo intermedio entre Criollo y Forastero o un grupo de híbridos que muestran características que incluyen el rango total de variación. Los Trinitarios combinan las mejores

características de las dos variedades principales: la rusticidad y alto rendimiento de Forestero y el refinado sabor de Criollo (Umaharan, 2018).

4.2.4. Nacional

Se originó en la zona amazónica de Ecuador (Fowler, 2009; Afoakwa, 2010). Tiene distintas características de aroma y sabor. Aunque se cultiva menos y contribuye solo al 5 % de la producción mundial de cacao, representa más del 50 % del cacao fino comercializado en todo el mundo cada año. Hasta principios del siglo XX, los cultivares Nacionales eran el único tipo de cacao cultivado en el Ecuador (Umaharan, 2018), con un sabor y aroma únicos, conocidos como 'arriba'.

Los productos de chocolate de calidad y fino sabor obtenidos a partir de granos de cacao Nacional son muy apreciados por los fabricantes de chocolate. Sin embargo, los árboles de cacao nacional originales se encuentran actualmente en peligro de extinción debido a la introducción de un germoplasma externo no relacionado (Solorzano et al., 2012). Actualmente, en las plantaciones modernas de Ecuador se encuentra una gran mezcla genética entre el cacao Nacional nativo y el germoplasma extranjero (Solorzano et al., 2009), lo que reduce el aroma del cacao fino. Actualmente, las variedades de cacao Nacional puro son escasas y existe una demanda creciente de cacao fino de aroma, aunque Ecuador todavía representa el 6,8% de la oferta de cacao de aroma 'arriba' en el mercado mundial (Umaharan, 2018).

4.3. Clones

Corresponden a plantas que presentan componentes hereditarios idénticos, debido a que se derivan de una planta madre seleccionada (planta plus). Los clones son propagados asexualmente mediante estacas, acodos o injertos (Quiñones et al., 2015). Se identifican con letras y números provenientes de su investigación, como es el caso del CCN51 (Colección Castro Naranjal), material que cubre una parte de las plantaciones de la Amazonía, sus mazorcas son rojizas-moradas en estado tierno, y cuando maduran son de color rojizo-anaranjado (Godoy, 2021).

4.3.1. Clon CCN51

A manera de respuesta ante la devastadora introducción de la escoba de bruja en Ecuador, el científico botánico independiente Homero Castro desarrolló CCN51 (Colección Castro Naranjal 51) durante la década de 1960. El árbol de cacao altamente productivo y resistente a las enfermedades se utilizó para reemplazar variedades más susceptibles. El clon

es el resultado del cruce de los clones ICS 95 y el IMC 67 en 1965, se han realizado diversos análisis del grano de cacao del CCN51, comparándolo con el cacao de las huertas tradicionales, con excelentes resultados (Castro, 2019).

El clon se encuentra mayormente en el Litoral y en la Amazonía. Es un árbol con flores pequeñas ubicadas en las ramas y mazorcas que contienen almendras cubiertas de una pulpa rica en azúcar. La producción de cacao se concentra principalmente en las provincias de Los Ríos, Guayas, Manabí y Sucumbíos. Al presentar un mayor potencial de rendimiento y resistencia a las enfermedades fungosas comunes, el clon CCN51 es una buena alternativa para producir cacao. Con un adecuado proceso de fermentación este tipo de cacao puede lograr buenas características de calidad (MAG, 2019).

4.3.2. Clon INIAP EETP-800

Se caracteriza por ser precoz (14 meses) y poseer un alto rendimiento, aporta al crecimiento productivo y a la oferta exportable de cacao fino y de aroma (Loor et al., 2018). EETP 800 presenta un alto grado de adaptación en la parte media y alta de la cuenca del río Babahoyo, noroccidente de Pichincha y norte de Guayas, hasta una altura máxima de 600 msnm, zonas donde el potencial genético del mencionado clon expresa su mejor comportamiento comercial (Montaño, 2021).

4.3.3. Clon INIAP EETP-801

Resultado del cruce de clones de origen nacional y 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 (ANECACAO, 2017), resistencia a plagas y enfermedades como la escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*), monilla (*Moniliophthora roreri*) y mal de machete (*Ceratocystis fimbriata*) (Loor et al., 2018).

4.4. Ecofisiología del cacao

El crecimiento, desarrollo y la buena producción del cacao están estrechamente relacionados con las condiciones medioambientales de la zona donde se cultiva. Es por lo que los factores climáticos influyen en la producción de una plantación (Sánchez et al., 2017).

4.4.1. Temperatura

La temperatura es un factor muy importante debido a su relación con el desarrollo, floración y fructificación del cacao. La mejor temperatura media anual para el cultivo del cacao

se ubica en 25 °C con un rango de temperaturas media mensual entre 24 °C y 26 °C, que es considerado óptimo para la producción. El clon CCN51 presenta floración normal y abundante a una temperatura óptima de 25 °C (Paredes, 2004).

4.4.2. Precipitación

La producción cacaotera se encuentra en zonas con precipitaciones anuales entre 1250 y 3000 mm. El rango para su mejor desempeño comercial es el comprendido entre 1500 y 2 000 mm (Sánchez et al., 2017).

4.4.3. Humedad relativa

El cacao necesita una humedad relativa anual promedio de 70 a 80 % (López y Mendoza, 2011). Es un factor determinante para la propagación de algunas enfermedades, principalmente de patógenos que afectan a la mazorca (Duarte et al., 2019)

4.4.4. Suelo

Requiere suelos profundos, con textura intermedia (francos), buena retención de agua, estructura granular, drenaje moderado, buena fertilidad y un porcentaje de materia orgánica de al menos 3 % (Sánchez et al., 2017)

4.4.5. Luminosidad

Influye en los procesos fotosintéticos. En etapas de establecimiento del cultivo se recomienda 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. En etapa de producción se considera que una intensidad lumínica menor al 50 % del total de la luz, limita los rendimientos, mientras que cuando es mayor al 50 % los aumenta (Dostert et al., 2011).

4.4.6. Radiación solar fotosintéticamente activa (PAR)

La radiación fotosintéticamente activa (RFA) es la radiación que aprovechan los cultivos para realizar sus funciones vitales en todas sus etapas fenológicas. El cultivo de cacao tiene una particularidad que logra un buen desarrollo cuando se encuentra bajo condiciones de sombreado. El cultivo sólo utiliza una parte de la radiación fotosintéticamente activa que llega a la plantación, el resto es interceptado por los árboles de sombra, por lo tanto, es de suma importancia el manejo del sombreado en las plantaciones de cacao (Batista, 2009).

4.5. Sombra en el crecimiento y rendimiento del cacao

4.5.1. Sombra en el cacao

De manera general, se puede decir que, durante los primeros años de crecimiento, el grado de sombra adecuado para el cacao es entre 50 y 70 %, es decir que necesitan mucha sombra durante los primeros años de crecimiento (Agudelo, 2018).

El cacao tradicionalmente se ha cultivado de distintas formas, de entre ellas la más tradicional es con el uso de sombra, misma que puede ser permanente o temporal. La eliminación de la sombra ha demostrado tener un impacto negativo en el almacenamiento de nutrientes con el paso del tiempo, por lo que afecta al crecimiento y rendimiento del cacao (Somarriba,2006)

Distintos niveles de sombra provocan una buena calidad del suelo: menor acidez y buenos contenidos de potasio, así mismo la sombra favorece el reciclaje de nutrientes, especialmente los procesos de mineralización y nitrificación del nitrógeno. La sombra reduce la evaporación del agua del suelo, debido a la intercepción de la luz solar y a la presencia del mantillo generado por los árboles el cual protege el suelo, que a su vez es beneficioso para la microflora y microfauna del suelo, encargados de la descomposición de la materia orgánica, los mismos que benefician a las plantas, por ende, habrá un mayor crecimiento y rendimiento (Quiroz, 2012).

4.5.1.1. Sombra temporal

Brindar sombra temporal a las plantas de cacao jóvenes les ayuda a obtener un crecimiento más rápido, contribuye a reducir la evapotranspiración y genera cobertura ante la radiación solar directa. Las especies de sombra temporal se deben plantar con anticipación en base a la especie que se emplee esto puede ser de entre 1 mes a 6 meses antes del trasplante de las plántulas. Los cultivos solo se quedan en la parcela hasta que el cacao desarrolle totalmente su follaje, en algunos países la duración de la sombra puede variar entre 2 a 5 años, generalmente las especies recomendadas para este tipo de sombra son: Maíz (*Zea mays*), Plátano (*Musa sp.*), Banano (*Musa paradisiaca*) (Sánchez et al., 2017).

4.5.1.2. Sombra permanente

La sombra permanente debe sustituir a la sombra temporal cuando el cultivo de cacao se haya desarrollado lo suficiente. La sombra permanente regula la temperatura, humedad y luz dentro del cacaotal. Además, se deben seleccionar árboles que no alojen plagas o enfermedades

que puedan afectar al cacao. Los árboles de sombra permanente mejoran las propiedades del suelo incrementando la materia orgánica y facilitando el drenaje, entre las especies recomendadas para este tipo de sombra son las siguientes: Madre cacao (*Gliricidia sepium*), Caoba (*swietenia macrophylla*), Amarillo (*Centrolobium ochroxylum*), Jigua (*Ocotea acutifolia*) (Sánchez et al., 2017).

4.6. Estudios sobre el uso de niveles de sombra en cacao

Agudelo et al. (2018) evaluaron el desempeño fisiológico de nueve genotipos de cacao bajo la sombra de tres especies forestales en Santander, Colombia. Los resultados mostraron que los sistemas de sombrero influyen sobre las tasas de fotosíntesis que presentan las plantas de cacao. Los clones establecidos bajo el sistema de sombrero con *Cariniana pyriformis*, presentaron mayores tasas de fotosíntesis ($5,39 \mu\text{moles CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), en la época húmeda y seca. Lo anterior se atribuyó al tipo de crecimiento y sombra proveída por la especie, que ofrece mejores condiciones ambientales para el desempeño fisiológico del cacao. Individualmente, los clones de cacao con el mejor comportamiento ecofisiológico fueron TCS19 y TCS13, por lo que se constituyen en genotipos de importancia agronómica.

Se ha realizado una simulación de arreglos agroforestales de cacao como una estrategia de diagnóstico y planificación para productores. Álvarez et al. (2012) realizaron simulaciones con SExI-FS® para identificar las interacciones y proponer alternativas en el manejo de la estructura de los arreglos agroforestales, dando elementos claves a quienes toman decisiones para optimizar los sistemas de producción. Los porcentajes de cobertura arbórea encontrados en cada arreglo agroforestal fueron bajos, siendo 10,8 % para la finca El Salado y 6,3 % para la finca El Palmar en el municipio de Rivera (Huila) Colombia. Cuando la disponibilidad de nutrientes es un factor limitante, se hace necesario aumentar el nivel de sombra, ya que existe una correlación positiva entre la producción de cacao y luz, el nivel de cobertura se debe aumentar a un 30 % que es el nivel ideal de sombra para cacao. La simulación con SExI-FS® sirve para implementar planes de manejo dentro de la plantación, como el mejoramiento del nivel de sombra, el manejo de las podas y el tipo de especies a utilizar.

Agele et al. (2016) evaluaron los efectos de la sombra sobre el microclima, las características del dosel y las integrales de luz en plántulas de cacao cultivadas en el campo durante la estación seca en una zona de selva tropical de Nigeria. Los regímenes de sombra probados fueron: sin sombra/abierto al sol, sombra densa y sombra moderada. La intensidad de la sombra afectó la transmisión de la radiación solar a través del dosel del cacao, la radiación

activa fotosintética (PAR) y la atenuación de la luz del dosel. La tasa de aparición de hojas fue más rápida a pleno sol que a sombra moderada o densa, el índice de área foliar fue más alto sin sombra y las plantas sin sombra tuvieron una mayor eficiencia en el uso de la radiación (RUE) y los valores de RUE fueron significativamente superiores en comparación con los otros dos tratamientos. La baja intensidad de la luz y el índice de área foliar del cacao bajo sombra tuvieron implicaciones negativas para el crecimiento y el desarrollo de la biomasa. Las temperaturas del aire dentro de la plantación de cacao fueron más altas para el cacao de sol abierto, seguido por el cacao de sombra moderada y densa.

Acheampong et al. (2013) examinaron el rendimiento fisiológico de cuatro clones de cacao bajo tres regímenes de sombra artificial a lo largo de un año en Ghana. Las plantas bajo sombra ligera tuvieron tasas fotosintéticas significativamente más altas en las estaciones lluviosas, mientras que en la estación seca se observó una tendencia a tasas fotosintéticas más elevadas bajo sombra intensa. Los resultados implican que durante las estaciones húmedas la luz fue el principal factor limitante de la fotosíntesis, mientras que en la estación seca el déficit de presión de vapor fue el principal factor limitante de la fotosíntesis a través de la regulación estomática. El área foliar fue generalmente menor bajo sombra más intensa, pero la diferencia entre tratamientos de sombra varió entre clones. Las diferencias en la distribución de la superficie foliar parecen ser la base de las diferencias genotípicas en la producción final de biomasa en respuesta a la sombra. Los resultados sugieren que la sombra para el cacao joven debe proporcionarse en función del entorno ambiental actual y del genotipo.

Famuwagun et al. (2017) investigaron los efectos de la sombra sobre el crecimiento y desarrollo del cacao luego de dos años de riego continuo en la estación seca en la Granja de Enseñanza e Investigación de la Universidad Federal de Tecnología, Akure, Nigeria. Los efectos del riego durante la estación seca fueron profundos en el crecimiento del cacao, el establecimiento (más del 90 % de supervivencia de las plántulas) y el desarrollo, la floración y la producción de mazorcas. Para el cacao con sombra moderada sin riego, sobrevivió alrededor del 30 % de las plántulas trasplantadas y el porcentaje de supervivencia alcanzable con las diversas combinaciones de riego con sombra osciló entre el 47 y el 90 %. La ausencia de sombra en combinación con un intervalo de riego de 5 días tuvo los mejores resultados en términos de crecimiento (desarrollo de raíces y brotes y acumulación de biomasa) y establecimiento, floración y producción de mazorcas.

5. Metodología

5.1. Localización del estudio

La investigación se ejecutó en la Estación Experimental “El Padmi” de la Universidad Nacional de Loja, ubicada en la parroquia “Los Encuentros” perteneciente al cantón Yantzaza, de la provincia de Zamora Chinchipe (Figura 1), situado a 3° 44’ 42.4” de latitud Sur y a 78° 37’ 10.537” de longitud Oeste. La Estación posee un área de 102,95 ha, y está a una altitud entre 775 y 1150 msnm. El clima varía entre tropical subhúmedo y tropical húmedo; es cálido y lluvioso con una temperatura media anual de 22,8° C y una precipitación de 1950 mm, repartidas de forma homogénea durante todo el año. La zona de vida corresponde a bosque muy húmedo premontano (bh-PM) y bosque húmedo tropical (bh-T) (Espinosa, 2021).

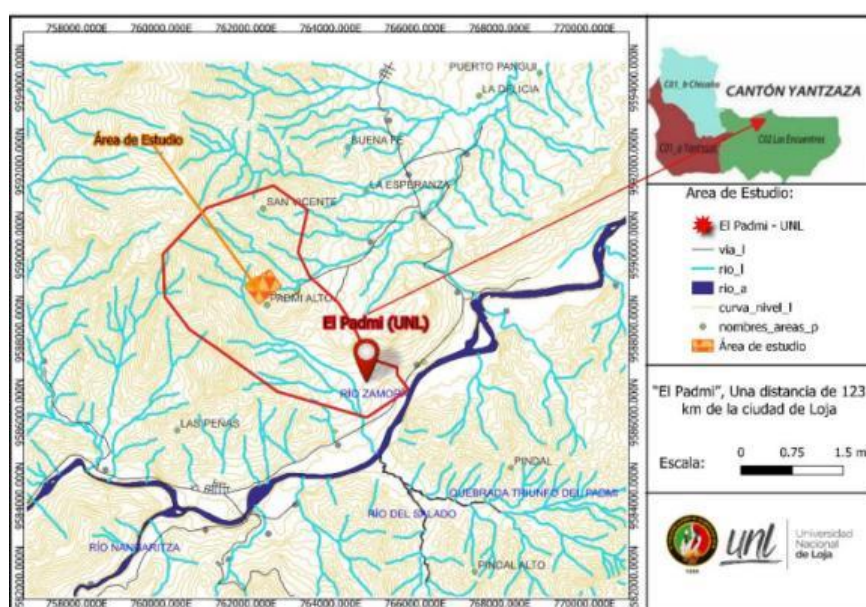


Figura 1. Localización del lugar de la investigación. Fuente: Sánchez (2022).

5.2. Tipo y alcance de la investigación

La investigación realizada fue de tipo experimental, ya que se tuvo como finalidad controlar, manipular y observar las características y variables de la población, con un enfoque cuantitativo, dado que se recopiló información cuantificable para ser utilizada en los análisis de la muestra de la población y así probar e interpretar la hipótesis. El experimento tuvo un alcance descriptivo y explicativo, ya que el propósito fue evaluar el efecto que tuvo la aplicación de diferentes niveles de sombra en crecimiento y rendimiento del cacao clon CCN51.

5.3. Diseño experimental

Se utilizó un Diseño en bloques completamente al azar (DBCA), con tres tratamientos, correspondientes a tres niveles de sombreado: Tratamiento 1 (T1): 0 % sombra; Tratamiento 2 (T2): 35 % de sombra; Tratamiento 3 (T3): 80 % sombra. Se trabajó con seis repeticiones y se consideraron 18 plantas de cacao clon CCN51, cada planta de cacao fue considerada unidad experimental (UE). Los tratamientos, niveles de sombra, repeticiones y el diseño experimental que se utilizaron se describen en la figura 2.

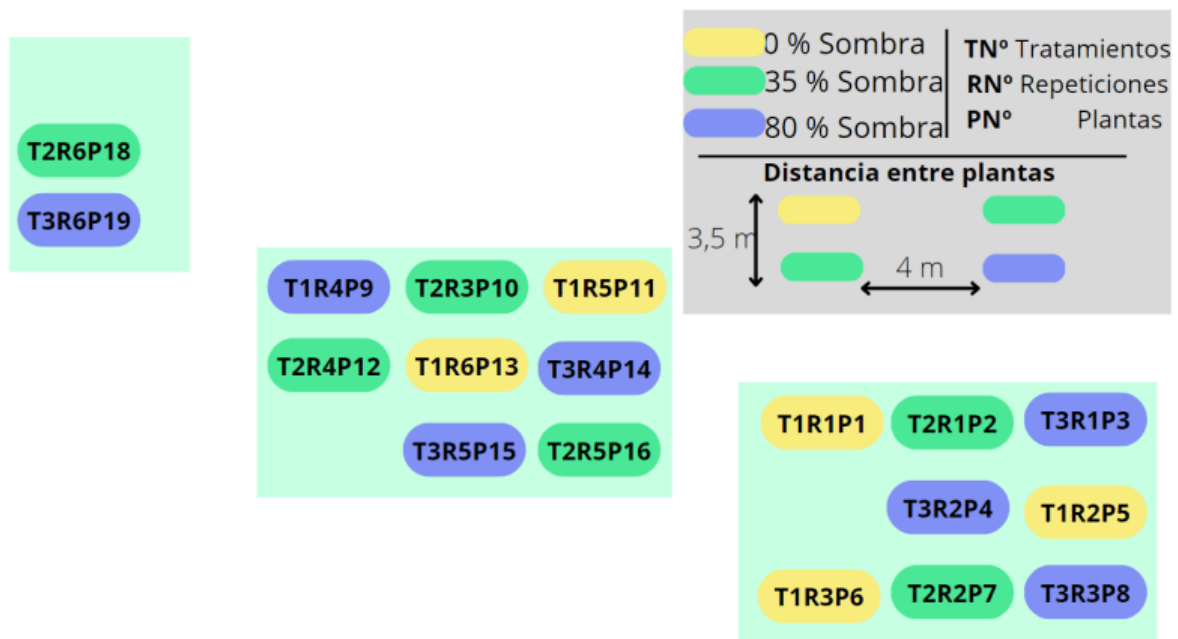


Figura 2. Delineamiento del diseño experimental para la evaluación de tres niveles de sombra en el crecimiento y rendimiento del cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN51 en el Padmi, Zamora Chinchipe.

Modelo matemático del diseño experimental

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

Donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta

μ = Media general

τ_i = Tratamiento

ε_{ij} = Error

5.4. Metodología general

La investigación abarcó el periodo comprendido de agosto 2022 a febrero 2023.

La investigación se llevó a cabo en un cultivo de cacao ya establecido, que forma parte del proyecto de investigación “Comportamiento del cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo diferentes condiciones de luminosidad en etapa inicial de producción en la Región sur del Ecuador”. Todas las plantas ya establecidas en el lugar de estudio tenían dos años y medio de edad, su marco de plantación fue de 3,5 m entre planta y 4 m entre surcos, con una densidad de 714 plantas/ha.

Cada uno de los tratamientos previamente establecidos poseían mallas sarán de diferentes niveles de retención de Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR, por sus siglas en inglés), para lograr así los niveles de 0 %, 35 % y 80 % de sombra. Esta malla estuvo a 2 m de la altura desde el suelo, se arregló las que estaban caídas y se mantuvo así durante todo el tiempo de ejecución del ensayo (Anexo 1, figura 1).

Se dio el mismo manejo agrotécnico a todas las unidades experimentales: en el mes de agosto se realizó el control de arvenses con motoguadaña y la poda de las plantas de cacao se dio con la ayuda de tijeras podadoras; en el mes de septiembre se realizó el control de arvenses con el herbicida glifosato cuya dosis fue de 150 ml en una bomba de 20 litros; también se realizó, cada 21 días, el control de malezas mediante rodajas o corona de 1,5 m alrededor de la planta de cacao para evitar que compitan por agua y nutrientes, esta acción se la realizó con una pala.

Para el control de plagas (grillo) se utilizó el producto BANZAI cuyo principio activo es Thiamethoxam + Lambda-cyhalothrin con una dosificación de 40 ml en una bomba de 20 litros, mientras que para controlar enfermedades (*Moniliophthora roreri*) se realizaron manejos culturales como la eliminación de los frutos contaminados.

La recolección de datos se realizó cada 21 días, luego de la identificación y caracterización del sitio de investigación.

5.4.1. Metodología para el primer objetivo

- Determinar el efecto que ejercen tres niveles de sombra sobre el crecimiento del cacao clon CCN51.

Para el cumplimiento del primer objetivo se evaluaron las siguientes variables: diámetro de copa, área foliar e índice de área foliar, las cuales se midieron al inicio y al final del ensayo. La radiación fotosintéticamente activa (PAR) solo se tomó al final del ensayo. En cambio, el índice de clorofila SPAD se midió con una periodicidad de 21 días.

5.4.1.1. Diámetro de copa

Se midió en centímetros la copa de los árboles en cruz (norte-sur y este-oeste), Dc1 y Dc2 luego se promedió y se reemplazó en la siguiente fórmula.

$$Dc = \frac{Dc1 + Dc2}{2}$$

Donde

Dc = Diámetro de copa.

5.4.1.2. Índice de área foliar (IAF)

El índice de área foliar se calculó por medio de la siguiente ecuación: IAF= Área foliar / Superficie que ocupa la planta en el suelo.

El área foliar se obtuvo mediante la ecuación de regresión sugerida por Herrera et al. (2022), a partir de la longitud de la hoja: $AF = 0,3146x^{1,9241}$, donde AF = área foliar de la hoja, y x = longitud de la hoja. Para determinar la longitud promedio de las hojas de cacao se seleccionaron 10 hojas al azar en cada unidad experimental. Además, se contó el número total de hojas por planta. El área foliar por planta se estimó multiplicando el área foliar promedio por el número de hojas por planta.

La superficie que ocupa la planta en el suelo corresponde al producto de la distancia entre planta y la distancia entre hileras, que en este caso es 14 m^2 ($3,5 \text{ m} \times 4 \text{ m}$). Los datos fueron expresados en centímetros cuadrados.

5.4.1.3. El índice de clorofila SPAD

En todas las unidades experimentales se midió el índice de clorofila utilizando el clorofilómetro portátil SPAD (Anexo 1, figura 2), el mismo que evaluó cuantitativamente de forma instantánea la intensidad del verde de la hoja. Se tomaron 3 medidas en diferentes partes de la hoja, las cuales fueron promediadas por el instrumento de medida, en 4 hojas de cada unidad experimental.

5.4.1.4. Radiación fotosintéticamente activa (PAR)

Este dato se registró al final del ensayo (105 días después del inicio de la evaluación) durante todo el día. Los datos fueron tomados dentro y fuera de la malla sarán en 3 unidades experimentales por tratamiento, los datos se tomaron desde las 9H00 hasta las 16H00 en periodos comprendidos de una hora (Anexo 1, figura 3). El resultado se presentó en función de la hora. Para la evaluación de esta variable se usó del piranómetro de marca Apogee que registra la radiación fotosintéticamente activa en $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

5.4.2. Metodología para el segundo objetivo

- Analizar el efecto de tres niveles de sombra en el rendimiento y sus componentes del cacao clon CCN51 en el Padmi, Zamora Chinchipe.

Para el cumplimiento del segundo objetivo se evaluaron las siguientes variables: número de mazorca por planta se contó en todos los frutos independientemente de su estadio. En cambio, longitud de mazorca, peso de la mazorca, peso de las semillas secas (las cuales se evaluaron en los frutos que alcanzaron la etapa de madurez fisiológica) y rendimiento estimado.

5.4.2.1. Número de mazorcas por planta

Al final del ensayo se cuantificó el número total de mazorcas por cada unidad experimental, independientemente del estadio que se encontraron (Anexo 1, figura 4).

5.4.2.2. Longitud de mazorca

Se midió desde el pedúnculo floral a la punta curvada de la mazorca, para ello se empleó una cinta métrica, y se registraron los valores en cm. Esta variable se evaluó en todos los frutos que alcanzaron el estadio de madurez fisiológica según la escala BBCH modificada (Bridgemohan et al. 2016).

5.4.2.3. Peso de la mazorca

El peso de la mazorca se determinó a partir de la longitud de esta, mediante la ecuación propuesta por Romero y Granja (2021): $\text{Peso de mazorca} = 0,0998 * (\text{LongitudMazorca})^{2,6806}$

5.4.2.4. Peso de las semillas secas

El peso seco de la semilla se estimó a partir del peso de la mazorca. Para ello se multiplicó el peso de los frutos por 0,107, que corresponde al 10,7 %, relación que se obtuvo de Romero y Granja (2021).

5.4.2.5. Rendimiento estimado

El rendimiento por hectárea se calculó mediante el producto del peso promedio de la semilla seca por fruto, el número de frutos por planta y la densidad de siembra, expresado en t/ha.

5.5. Análisis estadístico

Los datos registrados fueron tabulados en Microsoft Excel, el procesamiento estadístico de los datos de las variables evaluadas se realizó con el software InfoStat versión 2020. En todos los casos se comprobaron los supuestos de normalidad de los datos por la prueba de Shapiro-Wilks y homogeneidad de varianzas por la prueba de Levene. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza ANOVA y además se aplicó una prueba de comparación múltiple mediante la prueba de Tukey al 95 % de confianza, para determinar el mejor tratamiento para todas las variables evaluadas.

6. Resultados

6.1. Variables de crecimiento

Diámetro de copa

El diámetro de copa en las plantas de cacao CCN51 presentó diferencias significativas en el factor sombra a los 21 ($p = 0,0312$) y 105 ($p = 0,0204$) días después de inicio de la evaluación. Los tratamientos con sombra presentaron los mayores valores de diámetro de copa, incrementándose en promedio un 26 % en comparación con el testigo (Figura 3).

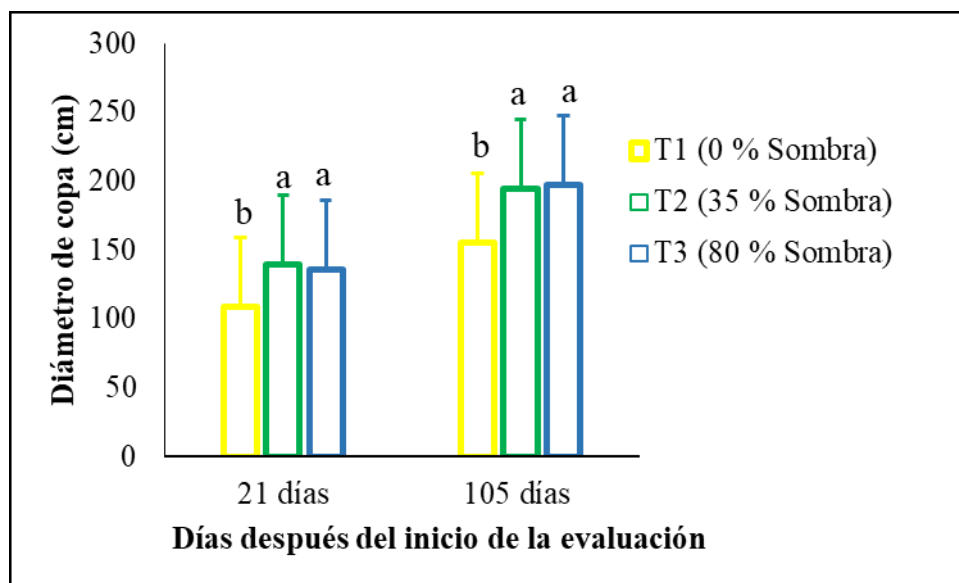


Figura 3. Diámetro de copa de cacao clon CCN51 a los 21 y 105 días después del inicio de la evaluación. Letras diferentes en un mismo tiempo indican diferencias estadísticas significativas, Tukey ($p < 0,05$). Barras verticales representan el error estándar.

Índice de área foliar (IAF)

Respecto al índice de área foliar no se encontraron diferencias significativas en los 21 ($p = 0,2419$) y 105 ($p = 0,2306$) días después de inicio de la evaluación. A los 105 el índice de área foliar varió entre 0,45 y 0,68 (Figura 4).

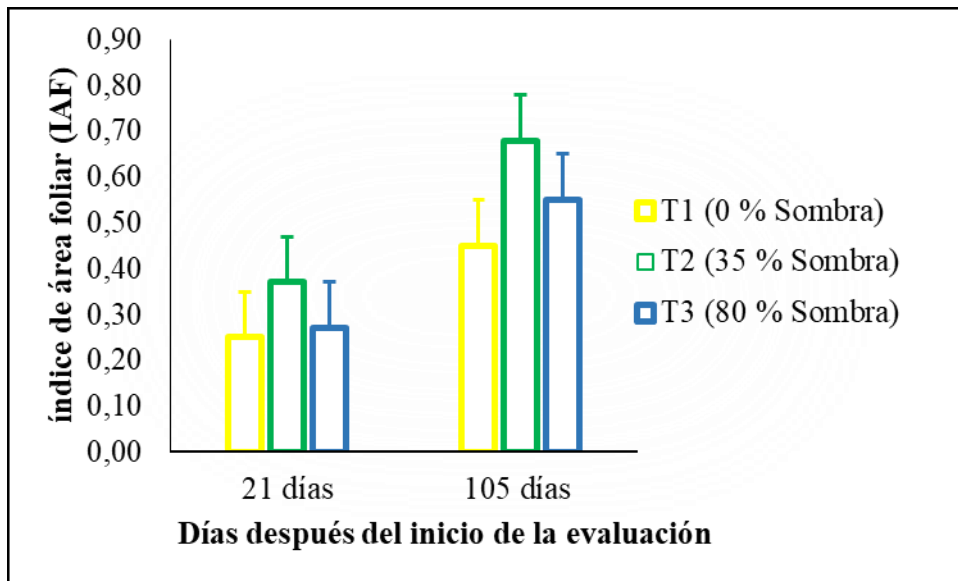


Figura 4. Índice de Área Foliar de cacao clon CCN51 a los 21 y 105 días después del inicio de la evaluación. Barras verticales representan el error estándar.

El índice de clorofila SPAD

La concentración de clorofila de acuerdo con los resultados obtenidos no presentó diferencias significativas ($p > 0,05$) en ninguno de los días evaluados. En la figura 5 se visualiza que el índice de clorofila varió entre 44,48 y 53,12 durante todo el periodo de evaluación.

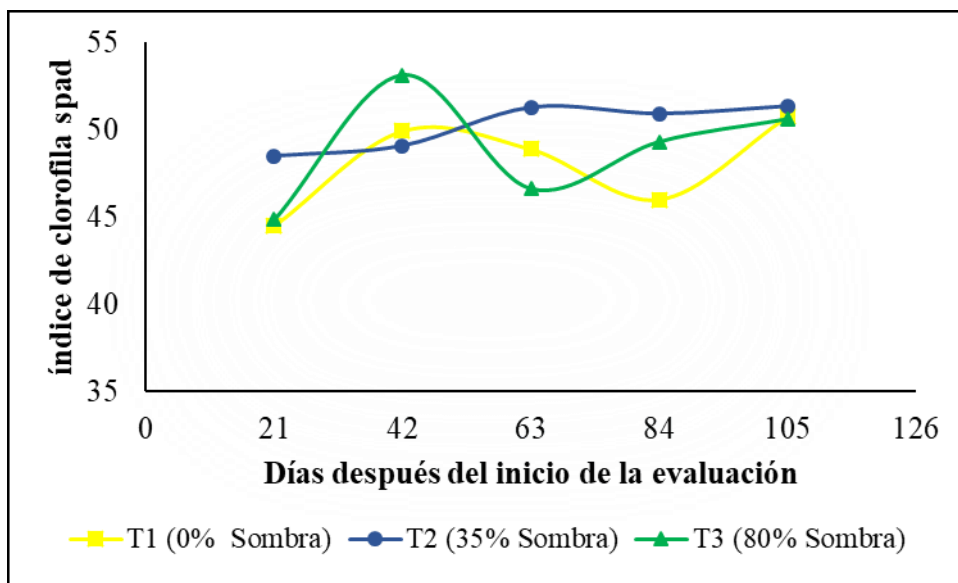


Figura 5. Promedios del índice de clorofila contenida en hojas de cacao clon CCN51 en cada nivel de sombra evaluado durante todo el periodo de muestreo (21 a 105 días desde el inicio de la evaluación).

Radiación fotosintéticamente activa (PAR)

Se encontró un efecto significativo ($p < 0,0001$) de la sombra en la radiación fotosintéticamente activa (PAR) que llega a las hojas de cacao durante todas las horas evaluadas (Figura 6). En este sentido, la radiación PAR dentro de la malla es menor cuanto mayor es el nivel de sombra, así con la sombra al 35 % la radiación PAR que llega a las plantas de cacao es en promedio el 29 % de la radiación total medida en las parcelas testigo (sin sombra), mientras que a sombra 80 % la radiación PAR que llega en promedio es el 84 %. Por lo tanto, se corrobora que las mallas disminuyen la radiación que llega a las plantas de cacao durante todo el día. La radiación alcanzó su pico máximo al medio día con valores promedios de $1238 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en el testigo, mientras que bajo sombra 35 % y 80 % sus picos máximos fueron de 368 y $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ respectivamente.

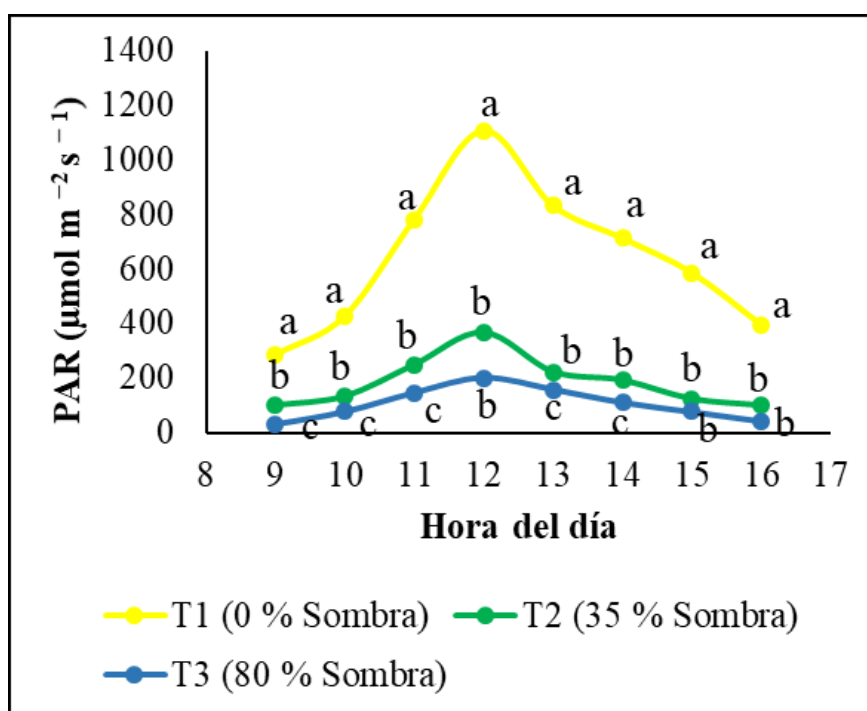


Figura 6. Radiación fotosintéticamente activa (PAR) a lo largo del día en el cacao CCN51 bajo diferentes niveles de sombra. Letras diferentes en línea vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey ($p < 0,05$).

6.2. Variables productivas

Número de mazorcas por planta

En la variable número de mazorcas por planta no se encontró un efecto significativo de la sombra ($p = 0,5425$). En la figura 7 se observa que el número de mazorcas varió entre 14 y 23 mazorcas por planta.

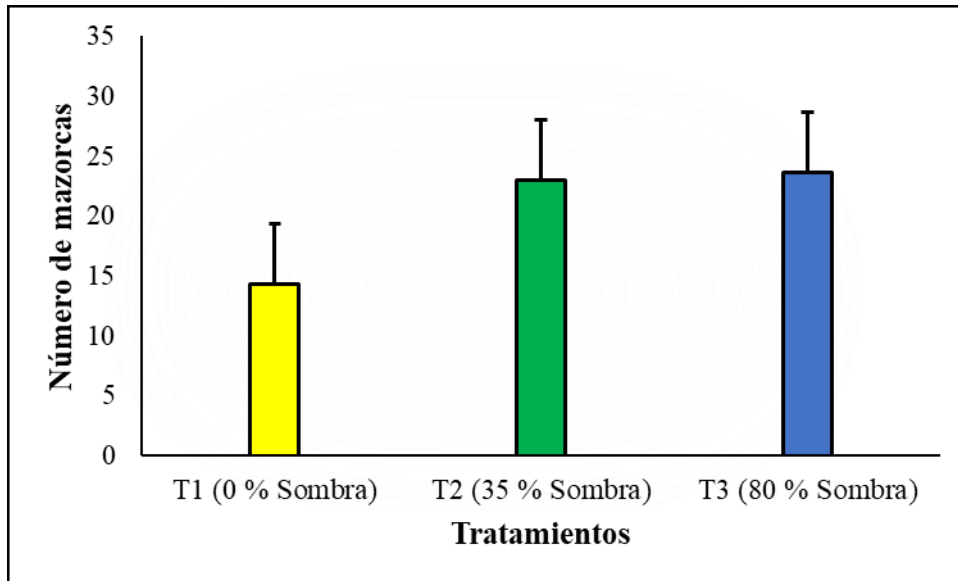


Figura 7. Número de mazorcas por planta de cacao clon CCN51 bajo diferentes niveles de sombra. Barras verticales representan el error estándar.

Longitud de mazorca

Al analizar estadísticamente los resultados obtenidos en lo que respecta a la longitud del fruto no se encontraron diferencias significativas ($p = 0,2854$) entre los tratamientos. Como se puede observar en la figura 8, los 3 tratamientos presentaron longitud de mazorca similar, valores que variaron desde 20,67cm hasta los 21,87 cm.

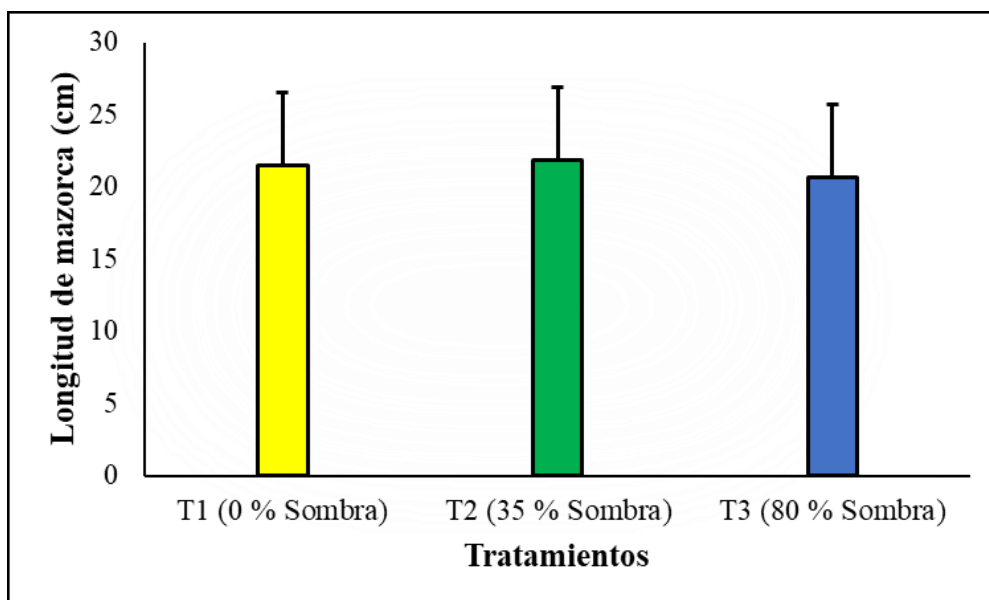


Figura 8. Longitud de mazorcas por planta de cacao clon CCN51 con diferente nivel de sombra. Barras verticales representan el error estándar.

Peso de la mazorca

El peso de la mazorca no presentó diferencias significativas ($p = 0,2771$) entre los tratamientos. En la figura 9 se observa que T3 (335,23 g) presentó una media inferior a T1 y T2 los cuales presentaron un peso de la mazorca de 374,37y 389,67 g respectivamente.

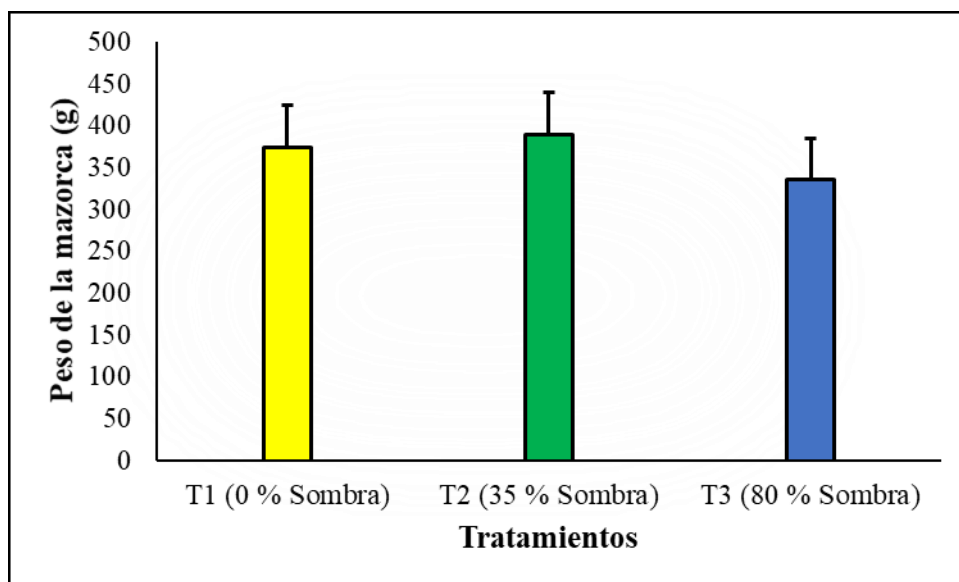


Figura 9. Peso de la mazorca por planta de cacao clon CCN51 bajo diferentes niveles de sombra. Barras verticales representan el error estándar.

Peso de las semillas secas

Al analizar estadísticamente los resultados obtenidos en lo que respecta al peso de las semillas secas no se encontraron diferencias significativas ($p = 0,2784$) entre los tratamientos. El mayor peso de las semillas secas se obtuvo en los T1 y T2 (40,07 y 41,7 g/fruto) que presentaron una media ligeramente superior respecto a T3 (35,87 g/fruto) lo cual se puede visualizar en la figura 10.

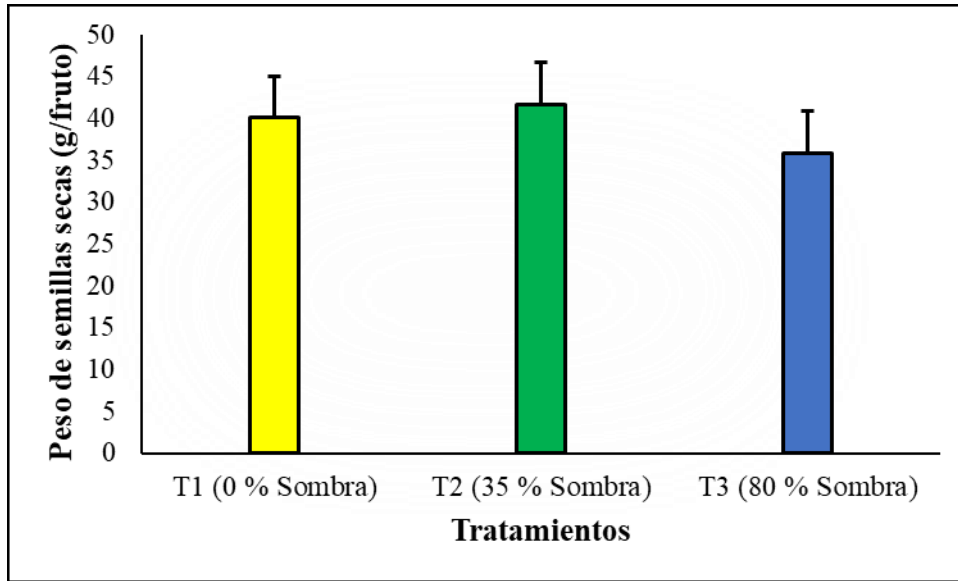


Figura 10. Peso de las semillas secas de cacao clon CCN51 bajo diferentes niveles de sombra. Barras verticales representan el error estándar.

Rendimiento estimado

El rendimiento no presentó diferencias significativas ($p = 0,5149$) entre los tratamientos, sin embargo, T2 y T3 presentaron el mayor rendimiento de 0,67 y 0,60 t/ha, mientras que T1 presentó un menor rendimiento de 0,4 t/ha (figura 11).

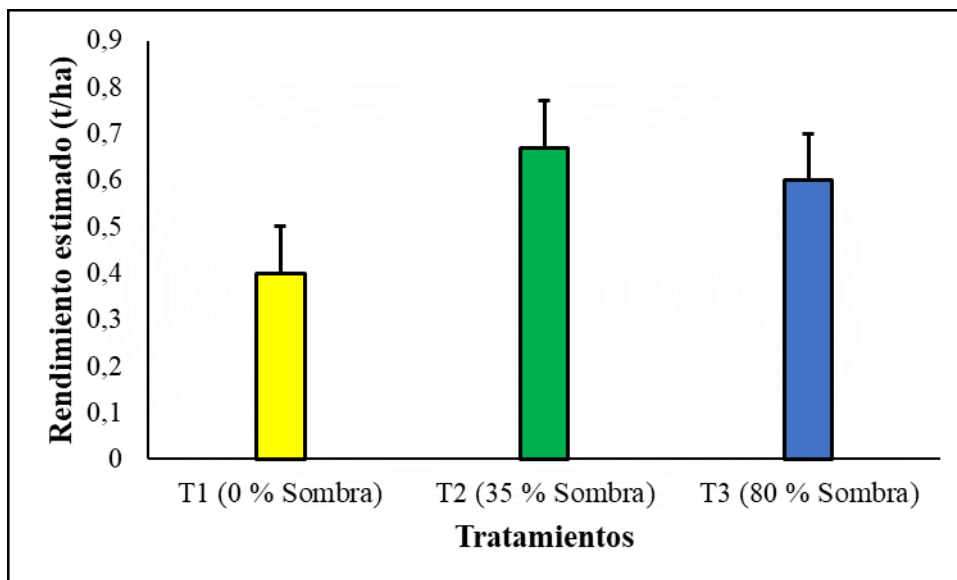


Figura 11. Rendimiento estimado (t/ha) en cacao clon CCN51 para cada nivel de sombra evaluado. Barras verticales representan el error estándar.

7. Discusión

En el presente estudio, se evaluaron tres niveles de sombra (0 %; 35 % y 80 %) en el crecimiento y rendimiento del cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN51. Los resultados del estudio revelaron que los niveles de sombra presentaron efectos estadísticamente significativos en las variables: diámetro de copa y radiación fotosintéticamente activa (PAR), sin embargo, para las variables índice de área foliar (IAF), índice de clorofila SPAD, número de mazorcas por planta, longitud y peso de la mazorca, peso de semillas secas y rendimiento estimado no presentaron efectos estadísticamente significativos.

Una razón para no presentar diferencias puede ser porque el cultivo se encontró ya establecido (dos años y medio), y el manejo que anteriores tesis le dieron puede estar influyendo en los resultados actuales, ya que se pudo apreciar que las mallas sarán estaban deficientes y no había controles de poda o malezas, que se realizaron una vez que se recibió el cultivo. Adicionalmente, durante el ensayo, el cultivo atravesaba por un grave problema, causado por la diseminación de moniliasis (*Moniliophthora roreri*) en toda la plantación, lo que redujo el número de mazorcas disponibles y por tanto podría haber influido en los datos. Al respecto, Ibrahim et al. (2003) mencionan que esta enfermedad podría afectar parámetros productivos y fisiológicos de las plantas. Se conoce que la enfermedad ocasiona pérdidas en rendimiento, de acuerdo con las condiciones ambientales, el manejo del cultivo, las medidas de control que se apliquen y las variedades cultivadas (Álvarez y Martínez, 2014). Esta enfermedad ataca a las mazorcas sin importar su edad, aunque las de estadio jóvenes son más susceptibles. En plantaciones ubicadas en zonas húmedas, con poca tecnificación y sin control, es frecuente observar pérdidas superiores al 90 %. Sin embargo, en condiciones culturales óptimas de manejo, control y germoplasma mejorado, los daños disminuyen considerablemente (Aranzazu, 1980; González, 2008; Álvarez y Martínez, 2014).

La variable de diámetro de copa presentó efecto significativo los días 21 y 105 en los tratamientos T2 (35 % sombra) y T3 (80 % sombra) en comparación con el testigo sombra al 0 %. El diámetro de la copa refleja la dimensión del aparato fotosintético del árbol que está directamente relacionado con su capacidad de crecimiento (Durló, 1996; Arias, 2005). Por su parte, Pinargote (2015) da a conocer que brindar sombra temporal a las plantas de cacao jóvenes ayuda a acelerar su crecimiento, contribuye a reducir la evapotranspiración y genera cobertura ante la radiación solar directa. Esta información podría explicar por qué los niveles de sombra a 35 % y 80 % presentaron mayor diámetro de copa en comparación con el testigo.

El índice de área foliar (IAF) se define como la relación entre el área foliar total unilateral y el área del suelo (Chen y Black, 1992), y es un indicador crucial para caracterizar los estados de la vegetación de la superficie terrestre. El IAF afecta a muchos procesos biológicos y físicos de la vegetación, como la fotosíntesis y la respiración (Chen y Cihlar, 1996; Chen et al., 2022). El IAF en el presente estudio a los 21 días varió de 0,25 a 0,37 y al día 105 entre 0,45 y 0,68, sin embargo, no presentó diferencias significativas ($p > 0,05$) en ninguna de las 2 evaluaciones realizadas. El IAF obtenido en el presente estudio puede cambiar con las condiciones de iluminación de la plantación, pues según Fernández y Martín (2005) el IAF óptimo va en dependencia con la intensidad de luz. Los valores de IAF reportados para árboles de cacao en fase productiva son muy variados, desde 1,5 hasta 6 en Ghana, entre 3,7 y 5,7 en Brasil (Leiva-Rojas et al., 2019) y entre 1,37 y 5,6 en Perú (González, 2008). El IAF medido en el presente estudio fue menor a los reportados anteriormente, los resultados pueden deberse al crecimiento de las especies, su genética y su arquitectura, ya que es una plantación de cacao joven de 2 años y medio. Otro de los factores que influye en el menor IAF son las condiciones climáticas y las propiedades del suelo que son diferentes para cada región (Jonckheere et al., 2004; Pokorný et al., 2008).

El índice de clorofila SPAD no presentó diferencias significativas entre los tratamientos a pesar de algunas variaciones a lo largo del tiempo, en promedio desde el inicio hasta la última toma de datos las plantas bajo sombra T2 (50,22), T3 (48,894) presentaron niveles superiores de clorofila que las plantas a pleno sol T1 (48). Arboleda (2010) corrobora nuestros resultados, en donde los contenidos de clorofila fueron mayores en plantas bajo sombra, a diferencia de las plantas a plena exposición solar, las cuales reciben intensidades de luz muy altas lo que provoca la disminución de la clorofila (Kozlowski, 1957), principalmente en hojas de especies adaptadas a la sombra como el cacao (Da Silva et al., 2017; Ardisana et al., 2013; Ardisana et al., 2018). En cambio, las plantas con sombra aprovechan la poca disponibilidad de la luz e inducen a un incremento en el contenido de clorofila para tratar de incrementar la fotosíntesis (Almeida et al., 2014). Una posible razón para no presentar diferencias es que se trabajó con hojas que visualmente presentaban características similares en cuanto a tamaño, estado fenológico y coloración, es decir hojas en un tamaño medio del tercio superior del árbol de cacao, con coloración verde intenso. Ardisana et al. (2018) evaluaron el contenido de clorofilas totales en doce clones de cacao de 12 años de edad en la provincia de Manabí, incluido CCN51, para el estudio se realizaron tres muestreos (enero, junio y fines de julio de 2017), los resultados obtenidos en el primer muestreo clon CCN51 presentó un contenido de clorofila de 45,2444;

en el mes de junio 55,3556 y finalmente para finales de julio 52,4667; en enero se encontraron valores inferiores al del presente estudio, sin embargo, en junio y fines de julio los valores fueron superiores a los obtenidos en el presente estudio, se obtuvieron diferentes valores en distintas épocas del año, por lo que las plantas de cacao son capaces de adaptar su contenido de clorofila a la época del año y a la disponibilidad de luz, además es importante mencionar que en el estudio realizado por Ardisana et al., (2018) los árboles de cacao tenían una edad de 12 años, mientras que en el presente estudio los árboles tienen 2 años y medio.

Los niveles de radiación fotosintéticamente activa (PAR) variaron significativamente ($p < 0,005$) bajo los diferentes niveles de sombra. Los niveles de PAR a pleno sol (0 % sombra) fueron desde $285,43 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ hasta $1106,33 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, por otro lado, la sombra al 35% presentó niveles desde $98,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ hasta $367,57 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, mientras que los niveles de PAR en sombra al 80% fueron desde $31,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ hasta $200,17 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. La malla sarán interceptó el 28,7 % y 84,4 % en los tratamientos evaluados (sombra 35% y 80%). Mensah et al. (2022) evaluaron los efectos limitados de la sombra en el rendimiento fisiológico del cacao bajo temperaturas elevadas, la investigación se llevó a cabo en África Occidental específicamente en Ghana en la estación cálida y seca con plántulas de cacao híbridas tolerantes a la sequía. Las plantas bajo tratamientos de sombra se colocaron en cobertizos abiertos hechos de postes de madera con 60 % mallas sombra negras, las plantas de sol se mantuvieron a pleno sol, los resultados fueron de $520 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a la sombra y $1485 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en sol, por lo que los niveles de radiación fotosintéticamente activa (PAR) indicaron diferencias significativas entre los niveles de sombra con los tratamientos a pleno sol. Las mallas sombra interceptaron entre el 60 % y el 70 % de los fotones dirigidos a las plantas. El estudio realizado por Mensah et al., (2022) presentan niveles superiores de PAR a diferencia de lo que se encontró en el presente estudio, esto se debe a que el estudio fue realizado en Ghana en condiciones totalmente diferentes a las que presenta la Amazonía ecuatoriana.

En cuanto a las variables productivas como lo es número de mazorcas por planta, longitud y peso de la mazorca, peso de semillas secas y rendimiento estimado no se vieron afectadas por el nivel de sombra ($p > 0,05$).

La variable número de mazorcas por planta estuvo comprendido en una media de 14,33 a un nivel de sombra del 0 %, 23 con sombra al 35 % y 23,67 frutos con sombra al 80 %. Dichos resultados son inferiores a los presentados por Leiva-Rojas et al. (2019) donde seleccionaron 20 árboles de los genotipos CCN 51 e ICS 95 con ocho años, en dicho estudio los valores más altos se presentaron en el clon CCN51 con 67 frutos/ planta, que fue

estadísticamente superior al clon ICS 95 el cual obtuvo la menor producción de frutos con una media de 50 frutos.

La longitud de mazorca estuvo entre 20,67 y 21,87 cm, tamaño inferior al presentado por Pinargote (2015) en clon CCN51, donde la longitud de la mazorca alcanzó 24,29 cm, de igual manera presentó un tamaño inferior de mazorca en comparación a los resultados obtenidos por Sarango (2009) en Santo Domingo, donde la longitud de mazorca de cacao clon CCN51 obtenida fue de 25,5 cm en los tratamientos. En cuanto al peso de la mazorca de cacao, el nivel de sombra al 35 % fue el que tuvo un mayor peso de 389,67 g, seguido del nivel de sombra al 0 % que tuvo un peso de 374,37 g. En peso de semillas secas se obtuvieron promedios de 40,07 g, 41,7 g y 35,87 para el T1, T2 y T3 respectivamente. Dichos resultados son inferiores a los presentados por Pérez y Freile (2017), que evaluaron la adaptabilidad de clones promisorios de cacao nacional en el cantón Arosemena Tola, perteneciente a la provincia Napo, Ecuador, el clon CCN51 presentó una masa de fruto de 810 g y de las semillas secas 55g/fruto.

En este estudio el rendimiento estimado fue de 0,4 t/ha (sombra 0 %), 0,67 t/ha (sombra 35 %), 0,6 t/ha (sombra 80 %), valores superiores a los presentados por Pérez y Freile (2017), donde el clon CCN51 alcanzó el valor más alto (0,26362 t/ha, Varios autores han recomendado niveles de sombra del 30-70% para el establecimiento de plántulas de cacao en el campo (Evans y Murray, 1953; Wood y Lass, 1985; Alvim et al., 2013), ya que mejoraron el rendimiento de las plantaciones maduras de cacao. Al igual que otros cultivos, el rendimiento del cacao depende de las condiciones de crecimiento alrededor de la planta y de la captura eficiente de la luz, la conversión eficiente de la energía de la luz interceptada en biomasa y la partición en granos (Long et al., 2006 ; Asare et al., 2017).

Es importante mencionar que la plantación de cacao es joven, apenas es su segunda producción, razón por cual se presume que el número de mazorcas sea bajo, además el tiempo de evaluación en el que se realizó el estudio fue muy corto, sin abarcar el total del ciclo productivo, lo cual, unido a los problemas fitosanitarios ya mencionados, habrían influido para no encontrar diferencias estadísticas significativas.

En la actualidad se asocia un mayor rendimiento de cacao a árboles con menos sombra. De hecho, parece que la eliminación de los árboles de sombra aumenta el rendimiento de cacao a corto plazo (Johns, 1999; Belsky y Siebert, 2003; Steffan-Dewenter et al., 2007). Además, los árboles de sombra parecen aumentar la vida productiva de los árboles de cacao (Obiri et al., 2007; Clough et al., 2011) a través de la reducción del estrés físico. Esto demuestra que el

cacao puede seguir siendo productivo durante períodos de tiempo bastante largos bajo un dosel más o menos denso de árboles de sombra. Sin embargo, pese a las diferentes ventajas que presentaría la sombra, los resultados del estudio no muestran diferencias significativas en cuanto a producción con sombra o sin sombra, por tal motivo se requiere ejecutar más estudios para determinar el efecto positivo de la sombra en los cultivos de cacao.

8. Conclusiones

- En el presente estudio se determinó el efecto de tres niveles de sombra T1 0 %, T2 35 % y T3 80 % sobre el crecimiento del cacao clon CCN51, los cuales no ejercieron un efecto significativo respecto a índice de área foliar e índice de clorofila. Sin embargo, se observó que sombra al 35 % y 80 % presentaron mejores resultados en comparación con sombra al 0 %. En cuanto a diámetro de copa presentó un efecto significativo, dejando en evidencia que una sombra al 35 % y 80 % presenta mayor diámetro en comparación al 0 %. Por su parte, la radiación fotosintéticamente activa presentó diferencia significativa dentro de los tratamientos T1 y T2 que tenían las mallas sarán, las cuales interceptaron un 28,7 % y un 84,4 % de la radiación fotosintéticamente activa, respectivamente.
- Las variables productivas no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes niveles de sombra. En promedio, el cultivo de cacao clon CCN51 presentó 20,33 mazorcas por planta, 21,34 cm de longitud de fruto, 366,42 g por mazorcas, 39,21 g de semillas seca por fruto, y rendimientos estimados entre 0,4 y 0,67 t/ha.

9. Recomendaciones

- Se recomienda que el manejo agrotécnico de las plantas de cacao y la recolección de datos de las variables de crecimiento y rendimiento del cacao clon CCN51 se haga cada 8 días durante un tiempo mínimo de 1 año y así obtener resultados más confiables, dado que en poco tiempo no se puede analizar muy a fondo todos los sucesos que ocurren en el cultivo y con ello poder determinar si es conveniente o no la aplicación de sombra.
- Es necesario efectuar más estudios tomando en cuenta más variables como por ejemplo variables fisiológicas, anatómicas y características organolépticas, y así conocer cómo los niveles de sombra actúan sobre ellas.

10. Bibliografía

- Acheampong, K., Hadley, P., & Daymond, A. J. (2013). Photosynthetic activity and early growth of four cacao genotypes as influenced by different shade regimes under West African dry and wet season conditions. *Experimental Agriculture*, 49(1), 31-42. <https://doi.org/10.1017/S0014479712001007>
- Afoakwa, E. O. (2016). *Chocolate science and technology*. John Wiley & Sons.
- Afoakwa, E. O., Quao, J., Takrama, F. S., Budu, A. S., & Saalia, F. K. (2012). Changes in total polyphenols, o-diphenols and anthocyanin concentrations during fermentation of pulp pre-conditioned cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *International Food Research Journal* 19 (3): 1071-1077
- Agele, S., Famuwagun, B. y Ogunleye, A. (2016). Efectos de la sombra sobre el microclima, las características del dosel y las integrales de luz en plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivadas en el campo durante la estación seca. *Revista de Ciencias Hortícolas*, 11 (1), 47-56. Obtenido de <https://jhs.iihr.res.in/index.php/jhs/article/view/105>
- 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
- 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. Doi <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2018v12i1.7341>
- Almeida, A. A. F., Gomes, F. P., Araujo, R. P., Santos, R. C., & Valle, R. R. (2014). Leaf gas exchange in species of the *Theobroma* genus. *Photosynthetica*, 52, 16-21.
- Álvarez, J. C., Martínez, S. C., & Coy, J. (2014). Estado de la moniliasis del cacao causada por *Moniliophthora roreri* en Colombia. *Acta agronómica*, 63(4), 388-399.
- Álvarez-Carrillo, F., Rojas-Molina, J., & Suarez-Salazar, J. C. (2012). Simulación de arreglos agroforestales de cacao como una estrategia de diagnóstico y planificación para productores. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 13(2), 145-150.
- Alvim, P. D. T., & Kozłowski, T. T. (Eds.). (2013). *Ecophysiology of tropical crops*. Elsevier.
- Aranzazu, F. (1980). La moniliasis del cacao. ICA.
- Ardisana Acheampong, K., Hadley, P., & Daymond, A. J. (2013). Photosynthetic activity and early growth of four cacao genotypes as influenced by different shade regimes under West African dry and wet season conditions. *Experimental Agriculture*, 49(1), 31-42.

- Ardisana, E. F. H., García, A. T., Téllez, O. F., Álava, J. Á., Pin, G. S., & Aguilar, R. L. (2018). Contenido de clorofilas totales en doce clones de cacao (*Theobroma cacao* L.). *La Técnica*, (20), 11-18.
- Arias, D. (2005). Morfometría del árbol en plantaciones forestales tropicales. *Kurú: Revista Forestal*, 2(5), 1-13.
- Asare, R., & Ræbild, A. (2016). Tree diversity and canopy cover in cocoa systems in Ghana. *New Forests*, 47, 287-302.
- Asare, R., Asare, R. A., Asante, W. A., Markussen, B. O., & Ræbild, A. (2017). Influences of shading and fertilization on on-farm yields of cocoa in Ghana. *Experimental Agriculture*, 53(3), 416-431.
- Asare, R., Markussen, B., Asare, R. A., Anim-Kwapong, G., & Ræbild, A. (2019). On-farm cocoa yields increase with canopy cover of shade trees in two agro-ecological zones in Ghana. *Climate and Development*, 11(5), 435-445.
- Belsky, J. M., & Siebert, S. F. (2003). Cultivating cacao Implications of sun-grown cacao on local food security and environmental sustainability. *Agriculture and Human Values*, 20, 277-285.
- Bridgemohan, P., Mohamed, M. E. S., Mohammed, M., Singh, K., & Bridgemohan, R. S. H. (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, 1-10.
- Centeno, A. A. N. (s. f.). AGROFORESTERIA: CULTIVO DE CACAO BAJO SOMBRA. Recuperado 15 de noviembre de 2022, de https://www.academia.edu/9729978/AGROFORESTERIA_CULTIVO_DE_CACAO_BAJO_SOMBRA
- Chávez Cruz, G. J., Olaya Cum, R. L., & Maza Iñiguez, J. V. (2018). Costo de producción de cacao clonal ccn-51 en la Parroquia Bellamaria, Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 10(4), 179-185.
- Chen, J. M., & Black, T. A. (1992). Defining leaf area index for non-flat leaves. *Plant, Cell & Environment*, 15(4), 421-429.
- Chen, J. M., & Cihlar, J. (1996). Retrieving leaf area index of boreal conifer forests using Landsat TM images. *Remote sensing of Environment*, 55(2), 153-162.
- Chen, Z., Jia, K., Wei, X., Liu, Y., Zhan, Y., Xia, M., ... & Zhang, X. (2022). Improving leaf area index estimation accuracy of wheat by involving leaf chlorophyll content information. *Computers and Electronics in Agriculture*, 196, 106902.
- Clough, Y., Barkmann, J., Jührbandt, J., Kessler, M., Wanger, T. C., Anshary, A., ... & Tschardtke, T. (2011). Combining high biodiversity with high yields in tropical agroforests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(20), 8311-8316.
- Coe, S. D., & Coe, M. D. (2013). *True History of Chocolate 3e*. Thames & Hudson.

- Córdova, K. S. A., Campoverde, J. Q., Unda, S. B., Montealegre, V. J. G., & Romero, H. C. (2021). Análisis económico de la exportación del cacao en el Ecuador durante el periodo 2014–2019. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 6(3), 2430-2444.
- Da Silva Branco, M. C., de Almeida, A. A. F., Dalmolin, Â. C., Ahnert, D., & Baligar, V. C. (2017). Influence of low light intensity and soil flooding on cacao physiology. *Scientia Horticulturae*, 217, 243-257.
- Dostert, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M. I., & Weigend, M. (2011). *Factsheet: Datos botánicos de cacao*.
- Duarte, D., Gutiérrez, E., Báez, N., de Almeida, G., Pereira, M., Bettio G., y Belmonte, H. (2019). *Poda y manejo de luz en el cultivo de cacao*. Colombia: FEDECACAO.
- Durlo, M. A., & Denardi, L. (1998). Morfometría de *Cabralea canjerana*, em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. *Ciência florestal*, 8, 55-66.
- Evans, H., & Murray, D. B. (1953). A shade and fertilizer experiment on young cacao. A shade and fertilizer experiment on young cacao.
- Famuwagun, I. B., Agele, S. O., & Aiyelari, O. P. (2017). *Shade Effects on Growth and Development of Cacao Following Two Years of Continuous Dry Season Irrigation*. *International Journal of Fruit Science*, 18(2), 153–176. doi:10.1080/15538362.2017.141632610.1080/15538362.2017.1416326
- Fernández, M., & Martín, R. T. (2005). Influencia de la intensidad luminosa sobre la tasa fotosintética de plantas de una savia de pinos españoles. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, (20), 73-78.
- Fowler, M. S. (2009). Cocoa beans: From tree to factory. In: S. T. Beckett (Ed.), *Industrial Chocolate Manufacture and Use*, 4th ed. Blackwell Publishing, Oxford, pp. 10–48.
- González, H. F. S. (2008). Ecofisiología del cacao. Diplomado 2007 Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo Maria, Huánuco, Peru.
- González, S. I. R. (2008). La moniliasis un desafío para lograr la sostenibilidad del sistema cacao en México. *Tecnología en marcha*, 21(1), 97-110.
- Hebbar, P., Bittenbender, H. C., & O’Doherty, D. (2011). Farm and forestry production and marketing profile for cacao (*Theobroma cacao*). *Specialty Crops for Pacific Island Agroforestry. Permanent Agriculture Resources, Holualoa, Hawaii*. <http://www.agroforestry.net/scps> (revised).
- Herrera, R., Vásquez, S., Granja, F., Molina-Müller, M., Capa-Morocho, M., & Guamán, A. (2022). Interaction of N, P and K on soil characteristics, growth and quality of cocoa sprouts and fruits in Ecuadorian Amazon. *Bioagro*, 34(3), 277-288. <https://doi.org/10.51372/bioagro343.7>
- Ibrahim, M. A., Harvey, C. A., Villanueva, C., Sinclair, F. L., & Muñoz, D. (2003). Decisiones claves que influyen sobre la cobertura arbórea en fincas ganaderas de Cañas, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas, número 39-40* (2003).

- ICCO (2012). *International Cocoa Organization. Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics*, vol. XXXVII – no. 3, 26 April 2012.
- INIAP. (2022). *Theobroma cacao L.* Obtenido de Instituto Nacional de investigaciones agropecuarias: <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mcafec/rcacao>
- Jaimez, R. E., Amores Puyutaxi, F., Vasco, A., Loor, R. G., Tarqui, O., Quijano, G., ... 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. doi:10.15446/abc.v23n1.6496210.15446/abc.v23n1.64962
- Jaimez, R. E., Araque, O., Tezara, W., & Ely, F. (2015). Ecofisiología de sistemas agroforestales: cacaos criollos con árboles maderables. *Sustentable. I. Peri, Pablo L., comp. II. Título 634.0*, 93.
- Johns, N. D. (1999). Conservation in Brazil's chocolate forest: the unlikely persistence of the traditional cocoa agroecosystem. *Environmental Management*, 23(1), 31.
- Jonckheere, I., Fleck, S., Nackaerts, K., Muys, B., Coppin, P., Weiss, M., & Baret, F. (2004). Methods for leaf area index determination. Part I: Theories, techniques and instruments. *Agric. For. Meteorol*, 121, 19-35.
- Kozłowski, TT (1957). Efecto de la alta intensidad de luz continua en la fotosíntesis de plántulas de árboles forestales. *Ciencias Forestales* , 3 (3), 220-224.
- Lass, R. A., & Wood, G. A. R. (1985). *Cocoa production: present constraints and priorities for research*. The World Bank.
- Leiva-Rojas, E. I., Gutiérrez-Brito, E. E., Pardo-Macea, C. J., & Ramírez-Pisco, R. (2019). Comportamiento vegetativo y reproductivo del cacao (*Theobroma cacao L.*) por efecto de la poda. *Revista fitotecnia mexicana*, 42(2), 137-146.
- Lockwood, G. and Gyamfi, M. M. O. (1979). The CR10 cocoa germplasm collection with notes on codes used in the breeding programme at Tafo and elsewhere. *Technical Bulletin No. 1*: 1–8. Cocoa Research Institute of Ghana, Ghana.
- Long, S. P., ZHU, X. G., Naidu, S. L., & Ort, D. R. (2006). Can improvement in photosynthesis increase crop yields?. *Plant, cell & environment*, 29(3), 315-330.
- Loor Solórzano, R. G., Sotomayor Cantos, I. A., Jiménez Barragán, J. C., Tarqui Freire, O. M., Rodríguez Zamora, G. A., Casanova Mendoza, T. D. J., & Quijano Rivadeneira, G. C. (2018). INIAP-EETP-800 e INIAP-EETP-801 nuevos clones de cacao fino y de aroma con alto rendimiento. *Revista fitotecnia mexicana*, 42(2), 187-189
- López, M. y Mendoza, A. (2011). «Programa estratégico para el desarrollo rural sustentable de la Región Sur-Sureste de México: Trópico Húmedo 2011. Paquete Tecnológico cacao (*Theobroma cacao L.*)». Centro de Investigación Regional - Golfa Centro
- McNeil, C. L. (2009). *Chocolate in Mesoamerica: a cultural history of cacao*. University Press of Florida.
- Mensah, E. O., Asare, R., Vaast, P., Amoatey, C. A., Markussen, B., Owusu, K., ... & Ræbild, A. (2022). Limited effects of shade on physiological performances of cocoa

- (*Theobroma cacao* L.) under elevated temperature. *Environmental and Experimental Botany*, 201, 104983.
- Montaño, K. A. M. (2021). Evaluación de dos niveles de sombra y dos niveles de fertilización, sobre parámetros morfológicos y fisiológicos, en etapas tempranas del cacao (*Theobroma cacao* L.), clon EETP 800, en la provincia de Zamora Chinchipe. 77.
- Montaño, K. A. M. (2021). Evaluación de dos niveles de sombra y dos niveles de fertilización, sobre parámetros morfológicos y fisiológicos, en etapas tempranas del cacao (*Theobroma cacao* L.), clon EETP 800, en la provincia de Zamora Chinchipe [Tesis para optar por el título de ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Digital.
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23971/1/Kleber%20Antonio%20Monta%20c3%b1o%20Tejedor.pdf> (Consultado el 4 de noviembre de 2022)
- Obiri, B. D., Bright, G. A., McDonald, M. A., Anglaere, L. C., & Cobbina, J. (2007). Financial analysis of shaded cocoa in Ghana. *Agroforestry systems*, 71, 139-149.
- Paredes, M. (2004). Programa para el desarrollo de la Amazonia, Proamazonia. "Manual del Cultivo de Cacao". Ministerio de Agricultura. Perú.
- Pérez Garcia, G. A., & 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.
- Pinargote, M. J. (2015). *Comportamiento productivo de cacao (Theobroma cacao L.) CCN-51 ante diferentes formulaciones de fertilización. Quevedo, 2014* (Bachelor's thesis).
- Pokorný, R., Tomášková, I., & Havránková, K. (2008). Temporal variation and efficiency of leaf area index in young mountain Norway spruce stand. *European Journal of Forest Research*, 127, 359-367.
- Quiñones Galvez, J., Sosa, D., Demey, J. R., Alemán, S., Sosa, M., Parra, D., ... & 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. doi: 10.15446/rev.colomb.biote.v17n2.5426510.15446/rev.colomb.biote.v17n2.54265
- Quiroz, J., & Mestanza, S. (2012). Establecimiento y manejo de una plantación de cacao. INIAP Archivo Histórico
- Remache, R. R., Cantos, K. S., Puyutaxi, F. A., Medina, A. V., & Dávila, F. R. (2020). Adapatación de clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) Tipo nacional en el piedemonte de Guasaganda, Cotopaxi, Ecuador. *Alternativas*, 21(3), 33-41.
- Romero, A.E. (2020). Aplicación de diferentes fuentes nitrogenadas y su influencia en la morfología, fisiología y productividad de cacao *Theobroma cacao* L. CCN51. [Tesis para optar por el título de ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Digital.
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23594/1/Adriana%20%20Elizabeth%20Romero%20Maza.pdf> (Consultado el 20 de enero de 2023)

- Sánchez Arizo, V. H., Zambrano Mendoza, J. L., & Iglesias, C. (2019). La cadena de valor del cacao en América Latina y el Caribe. SBN: 978-9942-36-465-4
- Sánchez, M. Á., León, D. G., Arce, S. M., López, T. D., & Rodríguez, P. M. (2017). Manual Técnico del Cultivo de Cacao Prácticas Latinoamericanas. *MA Sanchez, Manual Tecnico del Cultivo de Cacao Practicas Latinoamericanas*.
- Sarango, C. (2009). Efecto de tres niveles de fertilización química en el cultivo de cacao *Theobroma cacao* L., variedad ramilla CCN-51, Parroquia San Jacinto del Búa–Cantón Santo Domingo. *Santo Domingo: Tesis de grado*.
- Solorzano, R. G., Fouet, O., Lemainque, A., Pavek, S., Boccara, M., Argout, X., ... Lanaud, C. (2012). *Insight into the Wild Origin, Migration and Domestication History of the Fine Flavour Nacional Theobroma cacao L. Variety from Ecuador. PLoS ONE, 7(11), e48438*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048438>
- Solorzano, R. G., Risterucci, A. M., Courtois, B., Fouet, O., Jeanneau, M., Rosenquist, E., ... & Lanaud, C. (2009). Tracing the native ancestors of the modern *Theobroma cacao* L. population in Ecuador. *Tree Genetics & Genomes, 5(3), 421-433*.
- Somarriba, E. (2006). Como analizar y mejorar la sombra en los cacaotales. CATIE, Bolivia. Taller Regional de Aplicación Tecnológica en el cultivo del cacao. *ACCESO-IICA-USAID-CF-CICAD/OEA*.
- Steffan-Dewenter, I., Kessler, M., Barkmann, J., Bos, M. M., Buchori, D., Erasmi, S., ... & Tscharntke, T. (2007). Tradeoffs between income, biodiversity, and ecosystem functioning during tropical rainforest conversion and agroforestry intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(12), 4973-4978*.
- Thomas, E., van Zonneveld, M., Loo, J., Hodgkin, T., Galluzzi, G., & van Etten, J. (2012). Present spatial diversity patterns of *Theobroma cacao* L. in the neotropics reflect genetic differentiation in Pleistocene refugia followed by human-influenced dispersal. *PLoS One, 7(10), e47676*.
- Umaharan, P. (2018). Taxonomy and classification of cacao. In *Achieving sustainable cultivation of cocoa* (pp. 27-42). Burleigh Dodds Science Publishing.
- Vaast, P., & Somarriba, E. (2014). Trade-offs between crop intensification and ecosystem services: the role of agroforestry in cocoa cultivation. *Agroforestry systems, 88, 947-956*.
- Willson, K. C. (1999). *Coffee, Cocoa and Tea*. CABI Publishing, New York, pp. 100–10.
- Wood, G. A. R. and Lass, R. A. (1985). *Cocoa* 4th Edition. Longman Scientific & Technical, Essex, UK, p. 620

11. Anexos

Anexo 1. Imágenes de la evaluación realizada en cacao.



Anexo 1, figura 1. Plantas de cacao con diferentes niveles de sombra.



Anexo 1, figura 2. Medición del índice de clorofila SPAD...



Anexo 1, figura 3. Medición de la radiación fotosintéticamente activa (PAR).



Anexo 1, figura 4. Número de frutos del tratamiento T1.



FINE-TUNED ENGLISH LANGUAGE INSTITUTE

Líderes en la Enseñanza del Inglés

Lic. Carlos Fernando Velastegui Aguilar
DOCENTE DE FINE-TUNED ENGLISH CÍA. LTDA.

CERTIFICA:

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés, del Resumen de Tesis titulada: "EFECTO DE TRES NIVELES DE SOMBRA EN EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.) CLON CCN51 EN EL PADMI, ZAMORA CHINCHIPE", autoría del Estudiante Manuel Geovanny Paqui Paqui, con CI. 1150720538, egresado en la Carrera de Agronomía, de la Universidad Nacional de Loja.

Lo certifico en honor a la verdad y autoriza al interesado, hacer uso del presente en lo que a sus intereses convenga.

Loja, 25 de mayo de 2023.

Lic. Carlos Fernando Velastegui Aguilar
DOCENTE DE FINE-TUNED ENGLISH CÍA. LTDA.



Líderes en la Enseñanza del Inglés

Metz - Loja: Macará 205-51 entre Rocafuerte y Miguel Riofrío - Teléfono: 072578899
Zamora: García Moreno y Pasaje 12 de Febrero - Teléfono: 072608169
Yantzaza: Jorge Mosquera y Luis Bastidas - Edificio Sindicato de Choferes - Teléfono: 072301329

www.fte.edu.ec

Anexo 2. Certificación de traducción del abstract