



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agronómica

**“Evaluación de tres niveles de sombra sobre parámetros morfo –
fisiológicos en la etapa de crecimiento vegetativo de cacao
(*Theobroma cacao* L.) clon EETP - 801 en El Padmi, Zamora
Chinchipec”**

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Agrónomo

AUTOR:

Byron José Lapo Paredes

DIRECTOR:

Ing. Johnny Fernando Granja Trávez Mg. Sc.

LOJA – ECUADOR

2022

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN



FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA



Loja, 15 de julio de 2022

Ing. Johnny Fernando Granja Trávez Mg. Sc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que luego de haber dirigido y revisado el trabajo de titulación denominado: **“Evaluación de tres niveles de sombra sobre parámetros morfo – fisiológicos en la etapa de crecimiento vegetativo de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP - 801 en El Padmi, Zamora Chinchipe”**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Agrónomo**, del egresado: **Byron José Lapo Paredes**, con cedula de identidad **1106045584**, se autoriza su presentación debido a que el mismo se sujeta a las normas y reglamentos generales de graduación exigido por la Carrera de Ingeniería Agronómica. En mi calidad de Director de Tesis certifico que la investigación realizada ha sido trabajo propio del egresado.



JOHNNY FERNANDO
GRANJA TRAVEZ

Ing. Johnny Fernando Granja Trávez Mg. Sc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTORÍA

Yo, **Byron José Lapo Paredes**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación 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 Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:  _____

Cédula de identidad: 1106045584

Fecha: 21 de octubre de 2022

Correo electrónico: byron.lapo@unl.edu.ec

Teléfono: 0986306768

CARTA DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR, PARA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y/O PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO, DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.

Yo, **Byron José Lapo Paredes**, declaro ser autor/a del Trabajo de Integración Curricular o de Titulación denominado: **“Evaluación de tres niveles de sombra sobre parámetros morfo – fisiológicos en la etapa de crecimiento vegetativo de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP - 801 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 Titulación que realice un tercero.

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



Firma: _____

Autor: Byron José Lapo Paredes

Cédula: 1106045584

Dirección: Miraflores Alto, Av. Eugenio Espejo y Eplicachima

Correo electrónico: byron.lapo@unl.edu.ec

Teléfono: 0986306768

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Johnny Fernando Granja Travez *Mg. Sc.*

Tribunal de grado:

- Presidente: *PhD.* Mirian Irene Capa Morocho
- Vocal: *PhD.* Marlene Lorena Molina Müller
- Vocal: Ing. Freddy Eliazar Tinoco Tinoco *Mg. Sc.*

DEDICATORIA

Dedico de manera especial a mis padres, hermanos, abuelita, sobrinos, y demás familia, a las personas que estuvieron a mi lado ayudándome en este duro proceso y poder cumplir esta meta.

Por último, a las personas que estuvieron acompañándome y tuvieron que partir, les dedico con mucho cariño hasta el cielo.

Byron José Lapo Paredes

AGRADECIMIENTO

A Dios por la salud y bendiciones recibidas en todo momento.

A mi papás Manuel Lapo y Carmen Paredes por toda la ayuda brindada en todo momento.

A mis hermanos Fernando, Yadira y Dayanna, mis sobrinos María, Isaac, Monserrat, Sebastián y Diego, son mi inspiración.

A mis abuelitos que me enseñaron el trabajo duro y sacrificio de la agricultura.

A mis compañeros Anthony, Elvis, Javier, Ana, Neyva, Lady y Dayanna por su amistad y ayuda brindada a lo largo de la carrera. A mi gran amigo Benjamín Contenido quien fue un gran apoyo en todo momento.

Al Ing. Johnny Granja Mg. Sc. Por su guía y asesoría ante toda inquietud presentada, asimismo a la Ing. Jeamel Ruiz técnica del laboratorio de Sanidad Vegetal y a la Ing. Tania Sarango técnica del Laboratorio de Análisis Químico por su predisposición y gentileza.

De manera especial agradecer al Sr Víctor Medina y toda la familia Medina Paute por tratarme como un miembro más, también por la confianza brindada en todo el tiempo de estudio que fue fundamental para mí.

Byron José Lapo Paredes

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
AUTORÍA	iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
INDICE DE ANEXOS	xii
1. TÍTULO	1
2. RESUMEN	2
2.1 ABSTRACT	3
3. INTRODUCCIÓN	4
3.1. Objetivos	6
3.1.1. Objetivo general	6
3.1.2. Objetivos específicos.....	6
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
4.1. Importancia del Cacao.....	7
4.2. Taxonomía del Cacao.....	7
4.3. Origen del Cacao.....	7
4.4. Distribución y Producción Mundial del Cacao	8
4.5. Cacao en el Ecuador.....	8
4.6. Morfología del Cacao.....	9
4.7. Ecofisiología del Cacao.....	9
4.7.1. Altitud.....	9
4.7.2. Temperatura.....	10
4.7.3. Precipitación.....	10
4.7.4. Suelo.....	10
4.7.5. Humedad relativa	10
4.8. Grupos Genéticos	10
4.8.1. Cacao tipo criollo	10
4.8.2. Cacao tipo forastero.....	11

4.8.3. Cacao tipo trinitario.....	11
4.9. Clones Ecuatorianos.....	11
4.9.1. Cacao clon EETP - 801	12
4.9.1.1 Zonas recomendadas para la producción del clon EETP 801	12
4.10. Sombra y Luminosidad en el Cultivo de Cacao	12
4.11. Fenología del cacao	14
5. MATERIALES Y MÉTODOS	15
5.1. Ubicación del Área de Estudio.....	15
5.2. Diseño Experimental	15
5.3. Metodología General.....	16
5.3.1. Metodología para el primer objetivo	18
5.3.1.1 Altura de planta.....	18
5.3.1.2 Diámetro de copa	18
5.3.1.3 Área de sección transversal del tronco (ASTT)	18
5.3.1.4 Longitud del brote.....	18
5.3.1.5 Tasa de crecimiento absoluta (TCA)	18
5.3.1.6 Tasa de crecimiento relativo (TCR).....	19
5.3.1.7 Área foliar (AF)	19
5.3.1.8 Índice del área foliar (IAF)	20
5.3.1.9 Conductividad eléctrica y pH del suelo	20
5.3.2. Metodología para el segundo objetivo	20
5.3.2.1 Concentración de clorofila.....	20
5.3.2.2 Estructura anatómica de las hojas.....	20
5.3.2.3 Grosor de la lámina foliar	21
5.3.2.4 Densidad estomática (DE)	21
5.3.2.5 Índice estomático (IE).....	21
5.3.2.6 Tamaño de las estomas	21
5.4. Análisis Estadístico	22
6. RESULTADOS	23
6.1. Altura de Planta.....	23
6.1.1. Incremento de altura de la planta	23
6.2. Diámetro de Copa.....	24
6.2.1. Incremento del diámetro de copa	25
6.3. Área de Sección Transversal del Tronco (ASTT).....	25

6.3.1. Patrón (P).....	25
6.3.2. Vareta (V).....	26
6.4. Longitud del Brote	27
6.4.1. Tasa de crecimiento absoluta (TCA) del brote.....	28
6.4.2. Tasa de crecimiento relativa (TCR) del brote	28
6.5. Área Foliar.....	29
6.6. Índice de Área Foliar	30
6.7. Conductividad Eléctrica del Suelo	31
6.8. Análisis pH del Suelo	31
6.9. Concentración de Clorofila	32
6.10. Estructura Anatómica.....	32
6.11. Grosor de la Lámina Foliar	33
6.12. Densidad Estomática	34
6.13. Índice Estomático	35
6.14. Tamaño de Estomas	35
7. DISCUSIÓN.....	37
8. CONCLUSIONES	42
9. RECOMEDACIONES	43
10. BIBLIOGRAFÍA.....	44
11. ANEXOS.....	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción taxonómica del <i>Theobroma cacao</i>	7
Tabla 2. Delineamiento del diseño experimental.	16
Tabla 3. Promedio del incremento del diámetro de copa.	25
Tabla 4. Medias del incremento del ASTT y la TCA del patrón.	26
Tabla 5. Promedios del incremento del ASTT y la TCA en la vareta.	27
Tabla 6. Clorofila A, B y total en hojas de cacao.	32
Tabla 7. Promedios del ancho y largo de estoma y ancho de célula oclusiva.	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del estudio Estación Experimental El Padmi.....	15
Figura 2. Esquema del diseño experimental de cacao clon EETP - 801.....	16
Figura 3. Diseño de sombra de las plantas de cacao.	17
Figura 4: Relación entre el largo y el área foliar del cacao.....	19
Figura 5. Dinámica de crecimiento de altura de las plantas de cacao.	23
Figura 6. Incremento de altura de las plantas de cacao clon EETP 801.....	24
Figura 7. Dinámica de crecimiento del diámetro de copa.....	24
Figura 8. Área de sección transversal del tronco en el patrón.....	25
Figura 9. Área de sección transversal del tronco en la vareta.....	26
Figura 10. Dinámica del crecimiento de la longitud del brote.....	27
Figura 11. Crecimiento diario en cm del brote de cacao.....	28
Figura 12. Tasa de crecimiento relativa del brote.....	29
Figura 13. Área foliar de las plantas de cacao.....	30
Figura 14. Índice de área foliar del cacao.	30
Figura 15. Dinámica de la conductividad eléctrica en los suelos de cacao.....	31
Figura 16. Comportamiento del pH en los suelos de cacao.	32
Figura 17. Secciones transversales de la lámina foliar del cacao clon EETP 801.	33
Figura 18. Grosor de la lámina foliar del cacao.	34
Figura 19. Densidad estomática de las hojas de cacao clon EETP 801.	34
Figura 20. Índice estomático de las hojas de cacao clon EETP 801.	35
Figura 21. Toma de datos de las diferentes variables.	59
Figura 22. Estomas de la epidermis adaxial de la hoja de cacao clon EETP 80.	59

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis de suelo al inicio del proyecto.	52
Anexo 2. Cálculos de dosis de corrección del Boro.....	53
Anexo 3. Análisis de concentración de clorofila.....	54
Anexo 4. Fenología del cacao	55
Anexo 5. Fotografías	59
Anexo 6. Certificación de traducción del abstract	60

“Evaluación de tres niveles de sombra sobre parámetros morfo – fisiológicos en la etapa de crecimiento vegetativo de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP - 801 en El Padmi, Zamora Chinchipe”

2. RESUMEN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es de los cultivos perennes más importantes, su demanda crece a un ritmo paulatino, en Ecuador, el bajo rendimiento es el principal problema que afecta al sector cacaotero. El manejo de la sombra en etapas tempranas del cacao ha sido un tema de discusión, más aun, en la zona sur oriental del país, hay mucho desconocimiento sobre como puede afectar la sombra en el crecimiento y posterior producción. Es por ello que se evaluó la incidencia de sombra sobre parámetros morfo- fisiológicos durante el crecimiento vegetativo del cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP - 801. El ensayo se llevó a cabo en la estación experimental “El Padmi”, situada en la provincia de Zamora Chinchipe. Se estableció en un Diseño Completamente al Azar, con 6 repeticiones, los tratamientos fueron sin sombra y sombra con niveles al 35 % y 80 %. Las variables evaluadas fueron altura de la planta, diámetro de copa, área de la sección transversal del tronco, longitud del brote, área foliar, índice de área foliar, densidad estomática, tamaño de estomas, índice estomático, estructura anatómica de las hojas, contenido de clorofila. Además, se midió el pH y la conductividad eléctrica del suelo. El efecto de los tratamientos sobre las variables dependientes se evaluó mediante ANOVA y test de medias (Tukey) ($p=0,05$). Los resultados muestran que en variables morfológicas no se encontraron diferencias significativas, a diferencia de algunas variables fisiológicas, donde la sombra sí tuvo incidencia, favoreciendo al incremento de tamaño de los estomas, mientras que, en tratamientos sin sombra se obtuvo mayor densidad e índice estomático. En cuanto al pH del suelo no hubo variaciones significativas, no así en la conductividad eléctrica, el tratamiento con sombra al 80 % obtuvo un menor valor. En general los resultados de este trabajo no evidencian un efecto significativo sobre las características de crecimiento vegetativo, lo que se deduce que en clon EETP 801 puede no necesitar sombra en la etapa vegetativa del cultivo en la zona.

Palabras clave: Sombra, crecimiento vegetativo, cacao.

2.1 ABSTRACT

Cocoa (*Theobroma cacao* L.) is one of the most important perennial crops, its demand is gradual growing, in Ecuador, low yield is the main problem affecting the cocoa sector. Shade management in the early stages of cocoa has been a topic of discussion, even more so, in the southeastern part of the country, there is much ignorance about how shade could affect growth and subsequent production. That is why the incidence of shade on morpho-physiological parameters during the vegetative growth of cocoa (*Theobroma cacao* L.) clone EETP – 801 was evaluated. The trial was carried out at the “El Padmi” experimental station, location in the province of Zamora Chinchipe. It was established in a Completely Random Design, with 6 repetitions, the treatments were without shade and shade levels of 35 % and 80 %. The variables evaluated were plant height, crown diameter, trunk cross-sectional area, shoot length, leaf area index, stomatal density, stomatal size, stomatal index, anatomical structure of the leaves, content of chlorophyll. In addition, the pH and electrical conductivity of the soil were measured. The effect of the treatments on the dependent variables was evaluated using ANOVA and means test (Tukey) ($p=0,05$). The results show that in morphological variables no significant differences were found, unlike some physiological variables, where the shade did have an incidence, favoring the increase in stomata size, while, in treatments without shade, greater density and stomatal index were obtained. Regarding soil pH, there were no significant variations, but not in electrical conductivity, the shade treatment obtained a lower value. In general, the results of this work do not shade a significant effect on the characteristics of vegetative growth, which means that clone EETP – 801 may not need shade in the vegetative stage of the crop in the zone.

Keywords: Shade, vegetative growth, cocoa.

3. INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L) es uno de los cultivos perennes más importantes, su producción a nivel mundial es de 5 596 397 toneladas, con un rendimiento promedio de 475 kg ha⁻¹ (FAOSTAT, 2020). La demanda internacional de cacao está aumentando paulatinamente a un ritmo del 2,5 % anual (Jerez, 2017). En los últimos años el cultivo de cacao se ha difundido comercialmente en al menos 23 países de América Latina y el Caribe, con una producción conjunta superior a las 675 000 toneladas y alrededor de un 1 700 000 hectáreas, donde, Brasil, Ecuador, República Dominicana, Perú, Colombia y México son los mayores productores, concentran aproximadamente el 90 % de la producción (Arvelo, 2016).

En Ecuador, el cacao es uno de los principales productos de exportación; solo en las provincias de Loja, Zamora Chinchipe y El Oro existen cerca de 23 200 ha sembradas (SINAGAP, 2016), y a nivel nacional la superficie plantada sobrepasa las 467 000 ha. Sin embargo, y pese a la gran relevancia que tiene el cultivo, son múltiples los problemas que afectan al sector cacaotero, siendo el bajo rendimiento uno de los principales, ya que el promedio nacional es de apenas 520 Kg ha⁻¹ (MAG 2018), mientras que los rendimientos potenciales pueden superar los 4 000 Kg ha⁻¹ (Espinosa, *et al.*, 2012). La Asociación Nacional de Exportadores de Cacao reconoce que la superficie sembrada se ha ido incrementado en los últimos años, pero el rendimiento sigue siendo bajo (ANECACAO, 2017).

La sombra sobre el cultivo de cacao es fundamental para el desarrollo fisiológico y morfología de la planta. Las hojas bajo sombra tienen un área foliar mucho mayor que aquellas hojas que se desarrollan bajo plena luz, lo que aumenta el índice de área foliar (IAF). En condiciones de pleno sol, la radiación puede provocar transpiración excesiva, lo que significaría estrés hídrico, lo que puede ser la razón de la reducción de expansión foliar (Almeida & Valle 2007). Del mismo modo, un estudio de De Almeida *et al.*, (2019) en un invernadero bajo sombra y a pleno sol mostró que el contenido de clorofila de los árboles a plena luz se redujo significativamente, demostrando que existe fotoinhibición, por lo cual se sustenta que el cacao es un cultivo tolerante a la sombra.

Se debe señalar que, pese a la importancia del cultivo, gran parte de la investigación primaria a nivel mundial se llevó a cabo hace más de 40 años. La interpretación de las pruebas foliares y del suelo sigue siendo ambigua. Las interacciones con la agroecología y el manejo, especialmente la

sombra, son poco conocidas. Sin este conocimiento fundamental, las recomendaciones a nivel de finca tienen una base científica débil (Vliet, & Giller., 2017).

La sombra del cacao siempre ha sido un aspecto discutido dentro del manejo de cultivos debido a la gran ambigüedad entre los resultados de investigaciones en donde aseguran que el cacao presenta fotoinhibición a altas radiaciones, lo que indica que el cacao es resistente a la sombra (De Almeida *et al.*, 2019), Asare (2017), se opone y argumenta que "la sombra intensa es uno de los mayores factores que limitan el crecimiento vigoroso y los rendimientos más altos solo son posibles sin sombra". Resultados obtenidos de ensayos realizados en un entorno forestal en Ghana sobre la relación entre la sombra, la aplicación de fertilizantes y el rendimiento mostraron rendimientos muy altos después de la eliminación de la sombra en plantaciones de cacao bien establecidas en suelos fertilizados. INIAP (2019), menciona que la sombra sobre el cultivo de cacao afecta al rendimiento potencial en el estado de crecimiento vegetativo de la planta al modificar la morfología y fisiología de la planta, en contraposición. MAGAP (2012), recomienda que este cultivo se siembre bajo sombra, ya que esto genera cambios en los parámetros morfo – fisiológicos de la planta en su estado vegetativo, sin embargo, Almeida & Valle (2007), mencionan que en lo posterior esta sombra se traducirá en bajos rendimientos.

En la zona sur oriental del país no se ha discutido a profundidad sobre temas de productividad y menos de manejo, para la gran mayoría de productores son desconocidos estos temas y, por lo tanto, el manejo se centra en prácticas empíricas. Por tal razón, el uso de sombra es una de las interrogantes más frecuentes en cuanto a manejo se refiere, puesto que su uso se ha recomendado en las zonas de producción sin base ni investigaciones que sustente dicha práctica, por lo que se ha convertido en una práctica poco apoyada por productores, por lo que presenta un menor crecimiento y por ende rendimientos bajos. A pesar de que la sombra juegue un papel importante en el cultivo del cacao, existe información limitada, y hasta cierto punto contradictoria, sobre el efecto de la cobertura de sombra sobre los nutrientes, la temperatura del suelo y cómo estos pueden influir en el crecimiento y rendimientos de las plantaciones de cacao de pequeños y grandes agricultores en El Padmi, Zamora Chinchipe. El presente proyecto investigativo tiene como finalidad obtener la mayor información posible que beneficiará a los distintos productores cacaoteros de la zona, ya sean pequeños o grandes productores, debido al desconocimiento en cuanto a la sombra en cacao, además no se encuentra información verídica sobre los efectos de la

sombra en el crecimiento vegetativo en el cultivo de cacao, por esta razón es de suma importancia brindar esta información, así mismo permitirá plantear estrategias para el manejo adecuado de la sombra en plantaciones de cacao, lo cual beneficiará la productividad en la Provincia de Zamora Chinchipe, por lo tanto tendrá un efecto positivo en el ámbito social y económico.

3.1. Objetivos

3.1.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la aplicación de tres niveles de sombra sobre parámetros morfo – fisiológicos en la etapa de crecimiento vegetativo del cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP801, en el Padmi, Zamora Chinchipe.

3.1.2. Objetivos específicos

Determinar el efecto de los tres niveles de sombra sobre parámetros morfológicos en la etapa de crecimiento vegetativo del cacao clon EETP801, en el Padmi, Zamora Chinchipe.

Analizar la influencia de los diferentes niveles de sombra sobre parámetros fisiológicos en la etapa de crecimiento vegetativo del cacao clon EETP801, en el Padmi, Zamora Chinchipe.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Importancia del Cacao

El cacao ha tenido un rol importante en la economía e historia ecuatorianas: junto con el banano y el petróleo constituyen la tríada más importante de productos primarios de exportación, elementos clave para la articulación del Ecuador con la economía mundial (Abad *et al.*, 2019). En el Ecuador el sector cacaotero 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 costera del país, las estribaciones de las montañas de los Andes y la Amazonía ecuatoriana (ANECACAO, 2019).

4.2. Taxonomía del Cacao

Linneo en 1737 desarrolló la primera clasificación taxonómica para el cacao. Sin embargo, Benthán y Hooker en 1862 dieron la clasificación definitiva (Tabla 1) de la siguiente manera:

Tabla 1. Descripción taxonómica del *Theobroma cacao*.

Taxonomía del Cacao	
Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
Súper división	Spermatophyta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Dilleniidae
Orden	Malvales
Familia	Malvaceae
Género	<i>Theobroma</i>
Especie	<i>T. cacao</i> L.

4.3. Origen del Cacao

El cacao (*Theobroma cacao*) tiene su origen en la cuenca alta del río Amazonas, en un triángulo formado entre Colombia, Ecuador y Perú, tuvo su apogeo cultural con los aztecas en

Centroamérica y posteriormente fue llevado a Europa donde finalmente se masificó su consumo (Fernández *et al.*, 2012).

4.4. Distribución y Producción Mundial del Cacao

El cacao está distribuido en casi todo el mundo generalmente en regiones cálidas y húmedas en más de 50 países ubicados en cuatro continentes (África, América, Asia y Oceanía); 23 de ellos son países de América en los cuales se produce cacao a nivel comercial, siendo este un cultivo de gran importancia económica, social, ambiental, y particularmente cultural, para los territorios en donde se produce (Arévalo *et al.*, 2017). Sin embargo, África Occidental, Asia Sudoriental, América del Sur y América Central son los principales centros de cultivo teniendo una elevada tasa de crecimiento, ello sugiere un aumento significativo en la producción (FAOSTAT, 2020).

La producción mundial de cacao supera los 4 000 000 de TM de granos y cinco países (Costa de Marfil, Ghana, Indonesia, Nigeria y Camerún) concentran el 84 % de la producción mundial. El continente africano es responsable del 73 % de la producción y del 64 % de la superficie sembrada de cacao; los países de América contribuyen con el 17 % de producción mundial y el 17 % del área sembrada de cacao; Asia y Oceanía aportan el 10 % de la producción y el 19 % de la superficie sembrada. En cincuenta años la producción de cacao ha crecido de manera sostenida logrando cuadruplicar la oferta de cacao a nivel mundial, especialmente durante las décadas de los ochenta, noventa y la primera del actual siglo. Sin embargo, a partir de año 2011 se denota una importante reducción de la tasa de crecimiento que traía la producción de cacao a nivel mundial, desde 1961 en América del Sur, Brasil es el país que lidera mientras que Ecuador aporta con el 1 % del total (FAOSTAT, 2020).

4.5. Cacao en el Ecuador

En el país se cultiva el cacao en 19 de las 24 provincias, Guayas es la provincia de mayor producción alcanzando un 28 % del promedio de producción nacional, le sigue Los Ríos con 23 % y Manabí con 13 %. Ecuador es el mayor proveedor de cacao fino de aroma en el mundo, del 100 % de la producción mundial de cacao fino alrededor de un 70 % proviene de Ecuador. Esto se debe a que el grano tiene un marcado sabor y olor por el suelo y su riqueza mineral además de a la antigüedad de las plantas de cacao. También exporta elaborados de cacao hace varios años ganando paulatinamente mercado internacional por su gran calidad (López, 2019).

4.6. Morfología del Cacao

Es un árbol o arbusto semicaducifolio glabro o parcialmente pubescente en ejes jóvenes. Las hojas son coriáceas simples (con limbo duro y espeso), enteras, angostamente ovadas, ligeramente asimétricas, alternas y glabras o laxamente pubescentes en ambas caras y de aproximadamente 17 a 48 cm de largo, con 7 a 10 cm de ancho. La base de las hojas es redondeada a ligeramente cordada y con un ápice largamente apiculado. El pecíolo es de aproximadamente 14 a 27 mm de largo. Las estípulas son lineares y caducas. Las inflorescencias son caulinares (se originan del tallo) y cimosas o cerradas. Las flores son pentámeras, hermafroditas, actinomorfas, y de 10 a 20 mm de diámetro, con un pedúnculo floral de 1 a 3 cm de largo. Los sépalos son blancos o rosa claros, de 5 a 8 mm de largo y de 1,5 a 2 mm de ancho, fusionados en la base (Arvelo, *et al.*, 2017). Las flores son pequeñas, se abren durante las tardes y pueden ser fecundadas durante todo el día siguiente. El cáliz es de color rosa con segmentos puntiagudos; la corola es de color blancuzco, amarillo o rosa. Los pétalos son largos. La polinización es entomófila destacando una mosquita del género *Forcipomya* (Dostert *et al.*, 2012).

El fruto es una baya grande (mazorca), polimorfa, esférico a fusiforme, púrpura o amarillo en la madurez, glabro, con medidas de 10, 20 o 35 cm de largo y 7 cm ancho, con 200 a 1000 gr de peso y con 5 a 10 surcos longitudinales. El endocarpo es de 4 a 8 mm de grosor, duro, carnoso, y leñoso. Las semillas son café-rojizas, ovadas, ligeramente comprimidas. Con medidas de 20, 30 y hasta 50 mm de largo, 12 a 16 mm de ancho y 7 a 12 mm de grosor (Arvelo *et al.*, 2017).

4.7. Ecofisiología del Cacao

Arvelo *et al.*, (2017) dice que el cacao debe ser cultivado en zonas con condiciones de suelo y ambiente que le permitan prosperar y desarrollar todo su potencial productivo, es decir en áreas con climas cálidos y húmedos, además describe la siguiente eco fisiología para el cacao:

4.7.1. Altitud

El cacao se cultiva desde el nivel del mar hasta los 800 msnm; sin embargo, en plantaciones cerca de la línea del ecuador se desarrolla de manera normal en altitudes mayores: desde los 1 000 hasta los 1 400 msnm.

4.7.2. Temperatura

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. Zonas con temperaturas medias mensuales superiores a 31 °C e inferiores a 20 °C no se consideran aptas para la producción comercial del cacao.

4.7.3. Precipitación

La producción cacaotera se encuentra en zonas con precipitaciones anuales entre 1 250 y 3 000 mm. El rango para su mejor desempeño comercial es el comprendido entre 1 500 y 2 000 mm.

4.7.4. Suelo

Requiere suelos profundos entre 0,8 y 1,5 m, con textura intermedia (franco, franco-arcilloso, franco-arenoso), con un pH de 6,0 a 7,0; buena retención de agua, estructura granular, drenaje moderado, buena fertilidad y un porcentaje de materia orgánica de al menos 3 %.

4.7.5. Humedad relativa

El grado adecuado de humedad relativa para el cacao es de 80 %, aunque se desarrolla bien donde la humedad relativa se mantiene mayor al 70 %. Las tierras donde soplan vientos fuertes permanentes no son aptas para el cultivo de cacao. Bajo estas condiciones se debe establecer barreras rompevientos con árboles frondosos (ANACAFÉ, 2004).

4.8. Grupos Genéticos

Genéticamente, el cacao se divide en tres grandes grupos: Criollos, Forasteros y Trinitarios. Además, se deben mencionar los diferentes clones que el INIAP ha venido generando a través de trabajos de fitomejoramiento.

4.8.1. Cacao tipo criollo

Probablemente el cacao criollo fue domesticado por los mayas en diferentes zonas y regiones de América hace más de 3000 años, siendo el grupo de cacao más delicado y de poca productividad, susceptible a las plagas y enfermedades, por eso cuando el mal de machete (*Ceratocystis cacaofunesta*) se expandió por el continente americano, este genotipo de cacao casi desapareció,

especialmente en Panamá, Costa Rica y Nicaragua, aunque en el Alto Amazonas, se han encontrado genotipos resistentes a enfermedades, de los que se extraen materiales genéticos para la creación de clones que sean resistentes a problemas sanitarios (Enríquez, 2010; Dostert et al., 2011). Este tipo de cacao se caracteriza por tener mazorcas de coloraciones verdes y rojizas en estado inmaduro, tornándose amarillas y naranja con rojo cuando están maduras (Enríquez, 2010). El chocolate obtenido de este cacao es apetecido por el sabor a nuez y fruta, enmarcándose dentro de los cacaos finos (Paredes, 2009).

4.8.2. Cacao tipo forastero

Es también conocido como cacao Amazónico y/o amargo, es originario de la cuenca superior del Amazonas. Es una de las variedades que más se cultiva en las regiones cacaoteras de África y Brasil, aportando más del 80 % de la producción mundial (Motamayor, 2001). Las mazorcas en estado inmaduro son de color verde y cuando están maduras son de color amarillo, en la base tienen una forma de pequeño cuello de botella (Paredes, 2009). El fruto contiene más de 30 semillas, pericarpo grueso, mesocarpo fuertemente lignificado, semillas redondeadas y ligeramente aplanadas, con cotiledones de color violeta (Dostert *et al.*, 2011). En este genotipo se agrupan todos los cacaos comerciales de Brasil, el oeste de África y el este de Asia, así como el cacao nacional del Ecuador, y líneas del bajo Amazonas de tipo amelonado (Motamayor, 2001).

4.8.3. Cacao tipo trinitario

Genotipo que resultó del cruce espontáneo del cacao criollo y el forastero amazónico. De esta cruce heterogénea se tiene como resultado una diversidad de formas intermedias de mazorcas al igual que su coloración rojiza. Son más resistentes a enfermedades, y se adaptan a diversas condiciones ambientales (Enríquez, 2010). Estos abastecen del 10 al 15 % de la producción mundial. Es el cacao que más se cultiva en América (Paredes, 2009; Dostert *et al.*, 2011).

4.9. Clones Ecuatorianos

El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) del Ecuador, viene realizando investigaciones para crear nuevas variedades, híbridos y clones (Loor- Solórzano et al., 2019), resultado de las estrategias de mejoramiento genético han liberaron los clones EETP 800 y EETP 801, que se los considera como cacao fino de aroma de alto rendimiento (FAO, 2016).

4.9.1. Cacao clon EETP - 801

El cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP- 801 “Fino Pichilingue”, es el resultado del cruzamiento de clones nacionales con el clon CCN 51, presenta buenos niveles de rendimiento productivo y de calidad (ANECACAO, 2016). El fruto es de forma oblonga, con valores promedios de largo y ancho de mazorca de 21,8 cm y 10,1 cm, respectivamente. Presenta un color amarillo, con semillas con valores promedios de 2,68 cm y 1,26 cm, de largo y ancho, respectivamente. Al ser tolerante a enfermedades como escoba de bruja, moniliasis y mal de machete y al presentar un hábito de crecimiento de copa semi – erecta, presenta un promedio de 18 mazorcas por árbol, dando como resultado un rendimiento de 2 000 kg ha⁻¹ año⁻¹. Al ser denominado como un cacao fino y de aroma, con un elevado grado de precocidad y alto rendimiento, factores que garantizan que este sea exportable (INIAP, 2018).

4.9.1.1 Zonas recomendadas para la producción del clon EETP 801

INIAP (2016) indica que las zonas donde se adapta este clon son la parte media y alta de la cuenca del río Babahoyo, noroccidente de Pichincha y norte de Guayas, hasta una altura de 600 m snm.

4.10. Sombra y Luminosidad en el Cultivo de Cacao

En el cultivo de cacao es necesario considerar el efecto de la Radiación Fotosintéticamente Activa conocida por sus siglas en inglés como PAR (Photosynthetically active radiation), la cual ha sido subestimada en muchos ensayos antiguos relativos a cultivos bajo sombra. Se denomina PAR a la cantidad de radiación integrada del rango de longitudes de onda que son capaces de producir actividad fotosintética en las plantas. Este rango está comprendido entre los 400 y los 700 nanómetros y puede ser medido en densidad de flujo de fotones (De Almeida y Valle, 2007). También se conoce que la PAR no es la misma durante el transcurso del día, así mismo difiere de acuerdo a la zona geográfica, mes o estación del año, e incluso incide de manera diferente de acuerdo al manejo de la copa e interceptación de luz en un mismo cultivo (Agudelo *et al.*, 2018).

El cacao es un cultivo típicamente umbrófilo. El objetivo del sombreado al inicio de la plantación es reducir la cantidad de radiación que llega al cultivo para reducir la actividad de la planta y proteger al cultivo de los vientos que la puedan perjudicar. Cuando el cultivo se halla establecido se podrá reducir el porcentaje de sombreado hasta un 25 o 30 %. La luminosidad deberá

estar comprendida más o menos al 50 % durante los primeros 4 años de vida de las plantas, para que estas alcancen un buen desarrollo y limiten el crecimiento de las malas hierbas (Fernández *et al.*, 2012).

Arvelo *et al.*, (2017), menciona que la sombra en cacao tiene un efecto muy importante en el crecimiento y la productividad durante su desarrollo y vida. El efecto de sombra en cacao es muy complejo, ya que influye en el microclima del agrosistema por sus efectos sobre la cantidad de radiación solar, del viento y la humedad relativa que reciben los árboles de cacao y todos los elementos bióticos y abióticos del sotobosque, termina que influye sobre la tasa metabólica de los árboles y su productividad. A su vez, influye indirectamente en la relación planta–suelo y al balance nutricional. El microclima generado por el sombreado, además, influye en la incidencia de plagas y enfermedades. Los cacaotales a temprana edad necesitan de una mayor cantidad de sombra que puede estar comprendido entre 50 y 70 % aproximadamente proporcionados por especies o el uso de sombra artificial, a medida que las plantas van creciendo, se van autosombreadando por el aumento del follaje, lo que exige más luz y la eliminación paulatina de la sombra, se busca un rango entre 25 y 35 % de sombra (Cueva 2013).

Los sistemas agroforestales de sombra no siempre mejoran las condiciones de fertilidad y rendimiento del cultivo de cacao, según las evaluaciones de la eficacia de los sistemas agroforestales basado en los efectos de los árboles de sombra individuales pueden ser engañoso (Blaser *et al.*, 2017). Batista (2009) alega que el desarrollo y la producción de cacao se ve limitado por el exceso de sombra y el uso de especies de árboles sombreadores no adecuados, teniendo en cuenta además las correctas podas que facilitan una buena aireación, luminosidad y reducción de organismos patógenos.

El cacao es muy diferente a otros árboles frutales y muy sensibles a la luminosidad. La planta de cacao necesita sombra, pero no todo el día, más bien debe ser temporal, sólo requiere 3 horas de irradiación solar. En los tallos y ramas del cacao nacen yemas que morfológicamente son un tejido que, en sus primeras etapas es muy sensible a la luminosidad. Cuando hay oscuridad es probable que se desarrollen hojas y con luminosidad a lo interno del cacaotal se activan las yemas para producción de flores. Entre más hojas de cacao tenga el árbol, se producirá mayor fotosíntesis que genera la producción de carbohidratos, promueve el llenado de bellotas y protege para evitar el

agrietamiento de los tallos. Una excesiva sombra interna no produce floración, disminuyendo la producción (Ortega, 2019).

En tal contexto, muchos de los estudios realizados en cacao bajo sombra no han considerado mediciones de la radiación y podría ser una de las razones por la cual los resultados finales presentan tanta variabilidad entre las diferentes investigaciones. Así, en algunos estudios, en los que no se cuantifica la PAR, la densidad de sombreado se expresa como porcentaje de la luz diurna total transmitida y, como la intensidad de la radiación a "plena luz del día" variará entre regiones, también variarán los porcentajes óptimos de luz del día para la producción de cacao (Van Vliet y Giller, 2017).

4.11. Fenología del cacao

Niemenak *et al.* (2009), utiliza la escala BBCH para describir la fenología del cacao que inicia con el periodo de la imbibición y emergencia de las plántulas, seguidamente de los estadios de desarrollo de las hojas en el brote principal de la planta joven y en las ramas de abanico, elongación del tallo principal, formación de horquetas en la rama de abanico y chupón, alargamiento de la rama abanico, continuando con la emergencia de la inflorescencia, etapa de floración y finalmente la fase de crecimiento y desarrollo del fruto (Anexo 4).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Ubicación del Área de Estudio

El presente proyecto de investigación se realizó en la “Estación Experimental El Padmi” de la Universidad Nacional de Loja, ubicada en la provincia de Zamora Chinchipe, cantón Yantzaza, parroquia Los Encuentros, cuenta con un área aproximada de 100 Ha para fines de investigación. La ubicación geográfica corresponde a 3°51' 0''S 78°45' 0''W (GeoHack, 2020), a una altitud de 820 m s.n.m (Figura 1). Su clima es cálido y lluvioso todo el año, la temperatura media anual es 22,7 °C, una humedad relativa del 80 %, con precipitaciones promedio de 1 959 mm, siendo agosto (132 mm) el mes más seco y abril (212 mm) el de mayor humedad (Climate-Data, 2019).

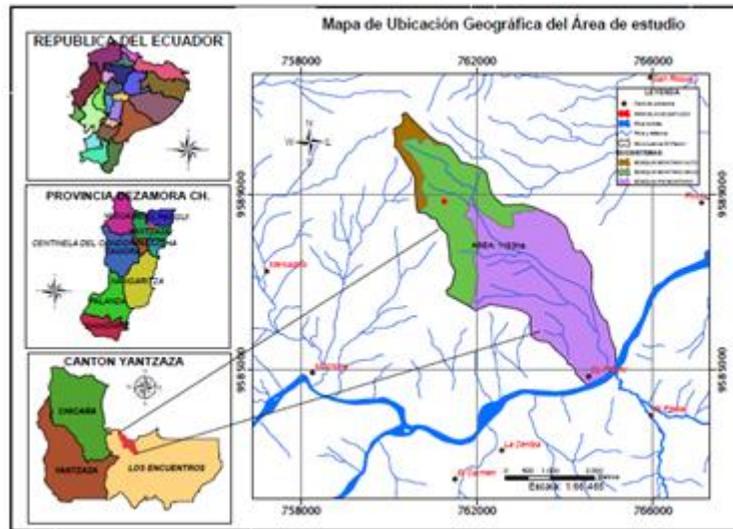


Figura 1. Ubicación del estudio Estación Experimental El Padmi.

5.2. Diseño Experimental

Para la investigación se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), con tres tratamientos que corresponden a los niveles de sombra y 6 repeticiones, la unidad experimental se dio a cada planta de cacao con un total de 18 (Tabla 2; Figura 2). El modelo matemático considerado para el DCA:

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

Donde: Y_{ij} : Variable de respuesta, μ : Media general, τ_i : Efecto del tratamiento (i: 1, 2, 3). ε_{ij} : Error experimental.

Los tratamientos fueron:

T1: Sin sombra

T2: 35 % de sombra

T3: 80 % de sombra

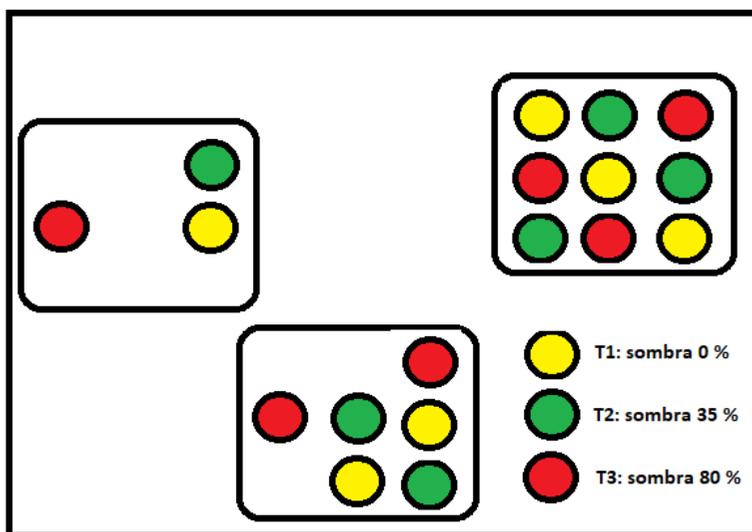


Figura 2. Esquema del diseño experimental de cacao clon EETP - 801.

Tabla 2. Delineamiento del diseño experimental.

Diseño	Cantidad
Número de tratamientos	3
Número de repeticiones	6
Unidad experimental	Una planta de cacao
Número de Unidades experimentales	18

5.3. Metodología General

En la investigación se utilizó un cultivo establecido con plantas de 17 meses de edad que forma parte del macroproyecto “Efecto de la Radiación Fotosintéticamente activa sobre cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Región sur del Ecuador y sus implicaciones agronómicas”, el marco de plantación utilizado fue 3,5 m x 4 m con una densidad de 714,28 plantas ha⁻¹, los clones que se encuentran en dicha plantación son: CCN51, EETP – 800 y EETP – 801. El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), garantiza el origen y las características de las plantas de cacao ya que provienen de este lugar. Se trabajó con el clon EETP – 801 en la investigación, que

se llevó a cabo desde marzo del 2021 hasta septiembre del mismo año, con una duración de 200 días.

Previo al inicio del proyecto se envió muestras de suelo al Laboratorio de Manejo de Suelos y Aguas de la Estación Experimental “Santa Catalina” del INIAP para su análisis químico (Anexo 1), presentando un nivel bajo de Boro. Los cálculos de corrección en base al análisis del suelo presentaron un déficit de $3,5 \text{ Kg ha}^{-1}$, para suplir este déficit se aplicaron $20,6 \text{ kg de H}_3\text{BO}_3 \text{ ha}^{-1}$, fraccionada en 6 aplicaciones de $4,9 \text{ gr por planta}$ (Anexo 2).

Para el establecimiento de los tratamientos con sombra (T2 y T3), se utilizó una malla de polietileno de alta densidad (saran) a fin de regular la intensidad de luz en porcentajes de 35 % y 80 %, colocada sobre postes de madera a una altura de 1,5 m (Figura 3), estos se fueron subiendo conforme las plantas lo necesitaban, mientras que, las plantas del tratamiento sin sombra (T1) permanecieron expuestas a la radiación solar. Todas las plantas recibieron las mismas labores culturales con el fin de evitar efectos de variación, el desmalezado se lo realizó con machete a una altura de 10 cm, posteriormente se fumigó con un herbicida (Glifosato), para el control de plagas se trató con insecticida (ENGEO) a los 80 y 160 días después de aplicar el tratamiento en dosis de 20 ml por bomba de 20 litros.



Figura 3. Diseño de sombra de las plantas de cacao.

5.3.1. Metodología para el primer objetivo

Para evaluar el efecto de la aplicación de tres niveles de sombra sobre parámetros morfológicos en la etapa de crecimiento vegetativo del cacao, se evaluaron y midieron las siguientes variables cuantitativas:

5.3.1.1 Altura de planta.

Con una cinta métrica se midió desde la base del tallo hasta el ápice más sobresaliente de la planta y se expresó en cm. Se hicieron 4 mediciones de esta variable en los 100 primeros días.

5.3.1.2 Diámetro de copa

Se midieron 5 veces en los 100 días posteriores, luego de haber realizado una poda de formación, se midieron los extremos de la copa en dos direcciones, norte a sur y este a oeste, la medida final es el promedio de las dos mediciones.

5.3.1.3 Área de sección transversal del tronco (ASTT)

Con la ayuda de una cinta métrica se midió el perímetro del tronco a 3 cm debajo (Patrón) y sobre el sitio de injerto (Vareta) de la planta, con este valor, se calculó el área utilizando la fórmula del área de la circunferencia: $(ASTT) = C^2/4\pi$, donde: **ASTT**: área de sección transversal del tronco **C**: Perímetro de la circunferencia del tronco **π** : Valor constante (3,14). Esta medida se tomará al inicio y al final del ensayo, los datos se expresarán en cm^2 .

5.3.1.4 Longitud del brote

Se seleccionaron y etiquetaron dos brotes ubicados en el tercio superior de cada planta y con una cinta métrica se midió el crecimiento longitudinal desde su la base hasta el ápice, esta medición se la realizo 4 veces los primeros 100 días, la medida se expresó en cm.

5.3.1.5 Tasa de crecimiento absoluta (TCA)

A los brotes seleccionados se les determino la TCA para observar el incremento de longitud del órgano por unidad de tiempo, el cual se expresó en cm día^{-1} , utilizando la formula usada por Godoy

(2021), $TCA = \Delta L / \Delta T$, donde; ΔL = longitud final – longitud inicial y ΔT = tiempo final – tiempo inicial.

5.3.1.6 Tasa de crecimiento relativo (TCR)

Sobre los brotes marcados se determinó la TCR, que corresponde al incremento de longitud por unidad de tamaño y por unidad de tiempo, se utilizó la siguiente fórmula $TCR = (1/L_i) (\Delta L / \Delta T)$, donde; L_i = longitud inicial, ΔL = longitud final – longitud inicial y ΔT = tiempo final – tiempo inicial.

5.3.1.7 Área foliar (AF)

Para determinar el área foliar se tomó en cuenta la ecuación del análisis alométrico, obtenida por Godoy, (2021) en estudio del cacao clon EETP 801 del mismo macroproyecto de la Universidad Nacional de Loja. El área foliar puede expresarse midiendo el largo de la hoja, ecuación que derivó el análisis es $0,3491x^{1,9115}$, con un coeficiente de determinación R^2 de 0,94 (Figura 4); es decir que, el 94,22 % de la variación total del área foliar se debe al efecto del largo de la hoja.

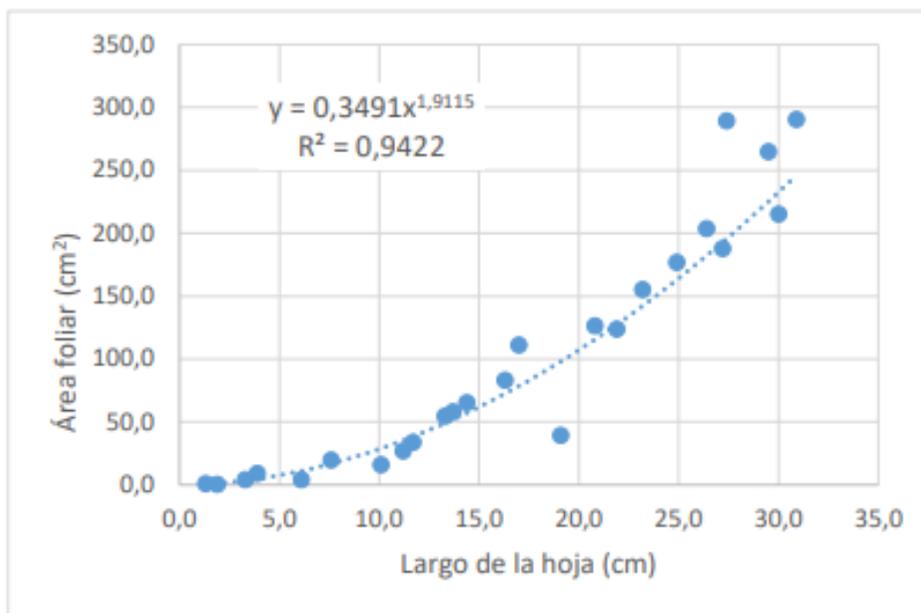


Figura 4: Relación entre el largo y el área foliar del cacao clon EETP 801.

5.3.1.8 Índice del área foliar (IAF)

Para el cálculo del IAF se empleó la ecuación utilizada por Hochmaier (2010), **IAF= área foliar/superficie del suelo**, esto nos indica la relación entre el área foliar total y la superficie del suelo que ocupa dicha área.

5.3.1.9 Conductividad eléctrica y pH del suelo

Durante la ejecución del proyecto, cada 20 días se recogieron 4 muestras de suelo por tratamiento de aproximadamente 100gr, a 30 cm de la planta y a una profundidad de 15 cm, posteriormente se las secó al aire libre para luego tamizarlas, etiquetarlas y enviarlas al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Loja para su respectivo análisis.

5.3.2. Metodología para el segundo objetivo

Para establecer cómo influyen los diferentes niveles de sombra sobre parámetros fisiológicos en la etapa de crecimiento vegetativo del cacao, se midieron las siguientes variables cuantitativas.

5.3.2.1 Concentración de clorofila

La medición de clorofila se realizó al final del proyecto, se recogieron 3 muestras por tratamiento, cada muestra constó de 2 hojas, las mismas que se obtuvieron del tercio medio de la planta y totalmente sanas. Las muestras se las envió al Laboratorio de Análisis Químico de la Universidad Nacional de Loja para la medición de la concentración de clorofila A, B y clorofila total, utilizando el protocolo de análisis de clorofila por espectrofotometría de Rodés y Collazo, (2006).

5.3.2.2 Estructura anatómica de las hojas

Al final del proyecto, se extrajeron hojas de los tratamientos en 3 repeticiones, con la ayuda un bisturí se hicieron cortes transversales en el tercio medio de la hojas para obtener laminas finas, estas laminas se dejaron el alcohol al 80 % durante 12 horas, luego se hizo un lavado con agua destilada, posteriormente se las sumergió en cloro durante 20 minutos para la descoloración, seguidamente se hizo otro lavado con agua destilada por 5 minutos para luego sumergirlas en azul de metileno durante 80 segundos, finalmente se montaron las muestras en un porta y cubre objetos

y en el microscopio con el objetivo 40 X se observaron los tejidos y se fotografiaron (Pacheco *et al.*, 2020).

5.3.2.3 Grosor de la lámina foliar

Se utilizaron las láminas hechas para la estructura anatómica de las hojas. En un microscopio con el objetivo 10 X se observaron y fotografiaron las secciones transversales de las hojas. El grosor de la lámina foliar se midió desde los extremos posteriores de las epidermis adaxial y abaxial. Para esta medición se utilizó en software Micro Cam V 5.7 y se expresó en μm .

5.3.2.4 Densidad estomática (DE)

Para la medición de esta variable se utilizó la técnica de la impronta, que consistió en la aplicación de esmalte transparente en un área pequeña de la parte central abaxial de la hoja, a cada lado de la nervadura central y entre las nervaduras centrales. Una vez seco el esmalte con ayuda de una pinza se procedió a remover la capa de esmalte con mucho cuidado y hacer montajes (Barrientos, 2003).

Para las observaciones se utilizó un microscopio Olympus BX-41 con el objetivo 10 X y con el programa Micro Cam V 5.7 se procedió a fotografiar áreas de $120\,000\ \mu\text{m}^2$ para el conteo de estomas, la medida final se la expresó en número de estomas mm^{-2} . Se capturaron 3 áreas por repetición, en 3 repeticiones por tratamiento.

5.3.2.5 Índice estomático (IE)

Con las fotografías utilizadas para la DE se contabilizaron las células epidérmicas y para calcular el IE se utilizó la siguiente fórmula $\text{IE} = (\text{NE} * 100) / (\text{CE} + \text{NE})$, donde: Ne= número de estomas y CE= número de células epidérmicas (Wilkinson, 1979).

5.3.2.6 Tamaño de las estomas

Para medir el tamaño de los estomas se utilizaron las improntas hechas para la DE. Con el microscopio Olympus BX-41 en el objetivo 40 X se tomaron 3 fotografías por repetición (3 repeticiones por tratamiento). En el programa Micro Cam V 5.7 se midieron el largo y ancho de 3 estomas por cada fotografía, además del ancho de la célula oclusiva, la medida se expresó en μm .

5.4. Análisis Estadístico

Los datos se sometieron a análisis de supuestos de normalidad, independencia de observaciones y homogeneidad de varianza, seguidamente se realizaron Análisis de Varianza (ANOVA) con un nivel de significancia del 5 %, para evaluar el efecto de los tratamientos. Además, se hicieron pruebas de comparaciones múltiples mediante el test de TUKEY con un porcentaje del 95 % de confiabilidad para identificar las diferencias significativas, todo este análisis se lo hizo mediante el programa INFOSTAT V 5.13 (Di Rienzo *et al.*, 2019).

6. RESULTADOS

6.1. Altura de Planta

Conforme a los resultados obtenidos, durante todas las fechas de medición no se encontraron diferencias significativas ($p>0,05$) entre los tratamientos con respecto a la altura de la planta. El tratamiento con sombra al 80 % (T3) alcanzó una media de 120,2, el tratamiento con sombra al 35 % (T2) obtuvo una media de 117,7 cm y el tratamiento Sin sombra (T1) mostró la media de 112,5 (Figura 5).

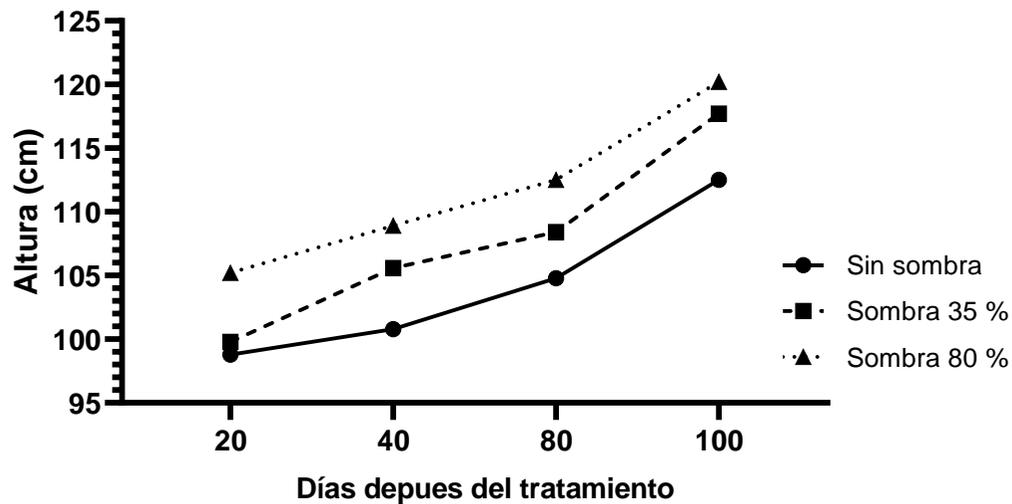


Figura 5. Dinámica de crecimiento de altura de las plantas de cacao clon EETP 801 en las fechas de evaluación. Los datos son promedios de 6 repeticiones por tratamiento.

6.1.1. Incremento de altura de la planta

En cuanto al incremento de altura de la planta tampoco mostraron diferencias significativas ($p>0,05$), en esta variable el tratamiento con sombra al 35 % (T2) obtuvo una media de incremento de 17,2 cm, el tratamiento con sombra al 80 % (T3) alcanzó una media de 15 cm y sin sombra (T1) una media de 13,8 cm (Figura 6).

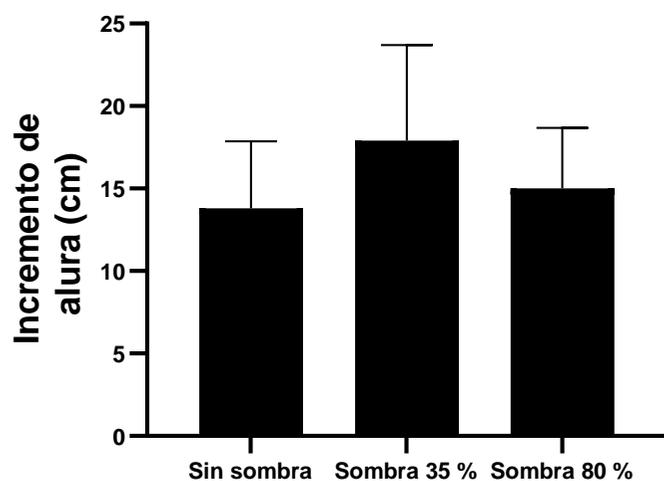


Figura 6. Incremento de altura de las plantas de cacao clon EETP 801. Las barras sobre cada columna indican el error estándar.

6.2. Diámetro de Copa

Los datos evaluados del diámetro de copa desde los 120 hasta los 200 DDT, no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$), el rango del diámetro de copa fue de 133,1 cm a 152,4 cm (Figura 7).

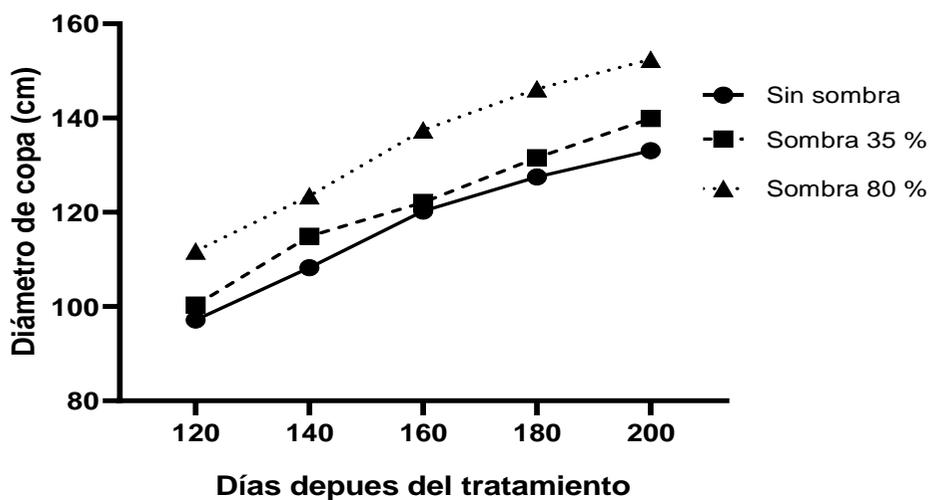


Figura 7. Dinámica de crecimiento del diámetro de copa de los 3 tratamientos aplicados al cacao clon EETP 801. Los datos son promedios de 6 repeticiones.

6.2.1. Incremento del diámetro de copa

En la Tabla 3, se muestran los valores del incremento del diámetro de copa en 80 días, donde no se encontró diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) entre tratamientos.

Tabla 3. Promedio del incremento del diámetro de copa de cacao clon EETP 801.

Tratamientos	Diámetro de copa		Incremento diámetro de copa (cm)
	120 DDT (cm)	200 DDT (cm)	
Sin sombra %	97,16 ns	133,08 ns	35,92 ns
Sombra 35 %	100,33 ns	139,91 ns	39,58 ns
Sombra 80 %	111,75 ns	152,41 ns	40,67 ns

*ns: no significativo

**DDT: Días después de aplicar el tratamiento

6.3. Área de Sección Transversal del Tronco (ASTT)

6.3.1. Patrón (P)

La Figura 8, muestra el ASTT en el patrón, no existieron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos, tanto a los 20 DDT como a los 200 DDT (17 y 23 meses de edad respectivamente). Los rangos del ASTT fueron de 8,88 hasta 10,32 cm² a los 20 DDT; y de 19,18 hasta 20,59 cm² a los 200 DDT (Tabla 4).

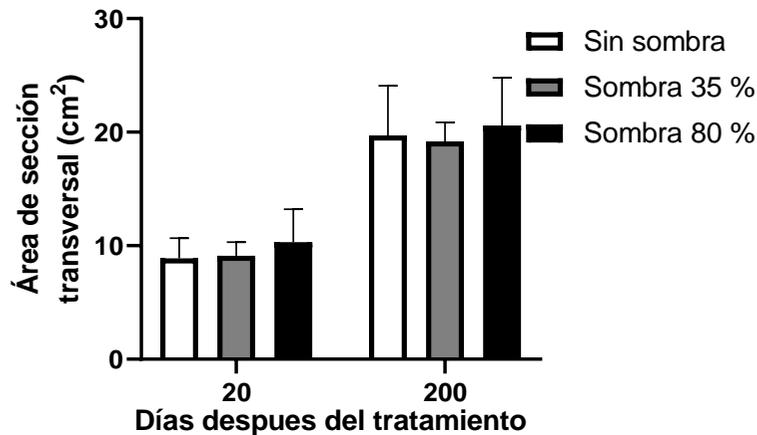


Figura 8. Área de sección transversal del tronco en el patrón de plantas de cacao clon EETP 801, al inicio y al final del proyecto. Las barras sobre cada columna indican el error estándar.

El incremento del ASTT y la TCA del patrón tampoco presentaron diferencias significativas ($p>0,05$) entre tratamientos (Tabla 4). En 180 días, el tratamiento Sin sombra (T1) tuvo un incremento de $10,83 \text{ cm}^2$, con una TCA de $0,054 \text{ cm}^2\text{día}^{-1}$; el tratamiento con sombra al 35 % (T2) obtuvo un incremento de $10,06 \text{ cm}^2$ y una TCA de $0,050 \text{ cm}^2\text{día}^{-1}$; y el tratamiento con sombra al 80 % (T3) obtuvo un incremento de $10,27 \text{ cm}^2$ con una TCA de $0,051 \text{ cm}^2\text{día}^{-1}$.

Tabla 4. Medias del incremento del ASTT y la TCA del patrón en plantas de cacao clon EETP 801.

Tratamiento	ASTT (P)		Incremento ASTT (cm^2)	TCA ($\text{cm}^2\text{día}^{-1}$)
	20 DDT (cm^2)	200 DDT (cm^2)		
Sin sombra %	8,88 ns	19,71 ns	10,83 ns	0,060 ns
Sombra 35 %	9,12 ns	19,18 ns	10,06 ns	0,055 ns
Sombra 80 %	10,32 ns	20,59 ns	10,27 ns	0,057 ns

*ns: no significativo

**DDT: Días después del tratamiento

6.3.2. Vareta (V)

Los resultados del ASTT de la vareta evaluados a los 20 DDT y a los 200 DDT (17 y 23 meses de edad respectivamente) no mostraron diferencias significativas ($p>0,05$) entre tratamientos, el rango del ASTT a los 20 DDT fue de $4,26$ a $4,89 \text{ cm}^2$, mientras que, a los 200 DDT fue de $13,79$ a $16,44 \text{ cm}^2$ (Figura 9; Tabla 5).

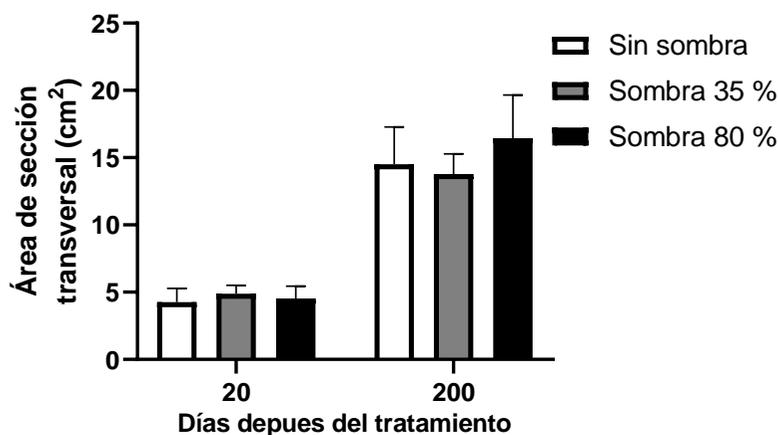


Figura 9. Área de sección transversal del tronco en la vareta de plantas de cacao clon EETP 801, al inicio y al final del proyecto. Las barras sobre cada columna indican el error estándar.

En la Tabla 5, se observa el incremento del ASTT y la TCA de la vareta donde no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p>0,05$) entre los tratamientos. En 180 días el tratamiento Sin sombra (T1) tuvo un incremento de $10,23 \text{ cm}^2$ y una TCA de $0,051 \text{ cm}^2\text{dia}^{-1}$; el tratamiento con sombra al 35 % (T2) obtuvo un incremento de $8,90 \text{ cm}^2$ y una TCA de $0,045 \text{ cm}^2\text{dia}^{-1}$; y el tratamiento con sombra al 80 % (T3) obtuvo un incremento de $11,91 \text{ cm}^2$ con una TCA de $0,060 \text{ cm}^2\text{dia}^{-1}$.

Tabla 5. Promedios del incremento del ASTT y la TCA en la vareta de planta de cacao clon EETP 801.

Tratamiento	ASTT (V)		Incremento ASTT (cm^2)	TCA ($\text{cm}^2\text{dia}^{-1}$)
	20 DDT (cm^2)	200 DDT (cm^2)		
0 %	4,26 ns	14,50 ns	10,23 ns	0,051 ns
35 %	4,89 ns	13,79 ns	8,90 ns	0,045 ns
80 %	4,53 ns	16,44 ns	11,91 ns	0,060 ns

*ns: no significativo

**DDT: Días después del tratamiento

6.4. Longitud del Brote

La variable longitud del brote no mostró diferencias significativas ($p>0,05$) en todas las fechas de evaluación. El tratamiento Sin sombra (T1) alcanzó una media de 4,45 cm, el tratamiento con sombra al 35 % (T2) obtuvo 2,03 cm de promedio y el tratamiento con sombra al 80 % (T3) una media de 7,03 cm (Figura 10).

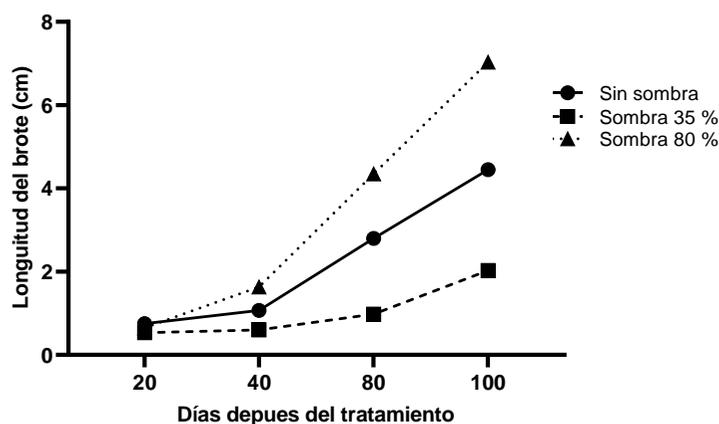


Figura 10. Dinámica del crecimiento de la longitud del brote del cacao clon EETP 801. Los datos son promedios de 6 repeticiones.

6.4.1. Tasa de crecimiento absoluta (TCA) del brote

En la Figura 11, se observa la TCA del brote donde; el tratamiento sin sombra (T1) tuvo un crecimiento de $0,019 \text{ cm dia}^{-1}$, los tratamientos con sombra al 35 % y 80 % (T2 y T3) tuvieron un crecimiento de $0,008$ y $0,032 \text{ cm dia}^{-1}$ respectivamente, a pesar de ello, no se encontraron diferencias significativas ($p>0,05$) entre los tratamientos.

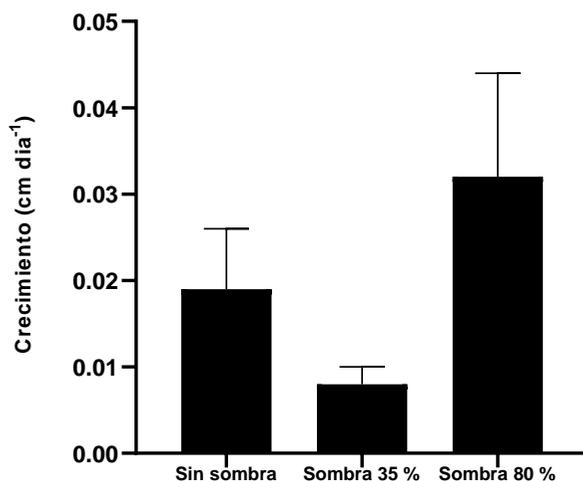


Figura 11. Crecimiento diario en cm del brote de cacao clon EETP 801. Los datos son promedios de 6 repeticiones. Las barras sobre cada columna indican el error estándar.

6.4.2. Tasa de crecimiento relativa (TCR) del brote

En la TCR del brote no presentaron diferencias estadísticas significativas ($p>0,05$) entre los tratamientos, la media que presentó el tratamiento sin sombra fue de $0,050 \text{ cm cm dia}^{-1}$, mientras que, los valores para los tratamientos con sombra al 35 y al 80 % son $0,020$ y $0,039 \text{ cm cm dia}^{-1}$ respectivamente (Figura 12).

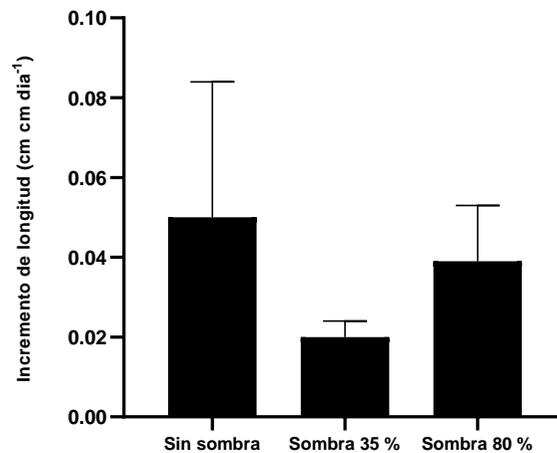


Figura 12. Tasa de crecimiento relativa del brote de cacao clon EETP 801. Las barras sobre cada columna indican el error estándar.

6.5. Área Foliar

El área foliar de las plantas de cacao EETP 801 sometidas a los tres tratamientos, fue determinada utilizando una medida alométrica, basada en un análisis de regresión cuyo mejor ajuste fue el modelo potencial para el largo de la hoja, es decir el área foliar puede expresarse midiendo el largo de la hoja. La ecuación que derivó del análisis alométrico es $0,3491x1,9115$ con un $R^2 = 0,9422$. El área foliar de las plantas de cacao EETP – 801 sometidas a tres niveles de sombra no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos (Figura 13). El área foliar va desde 33532,95 a 30938,45 cm².

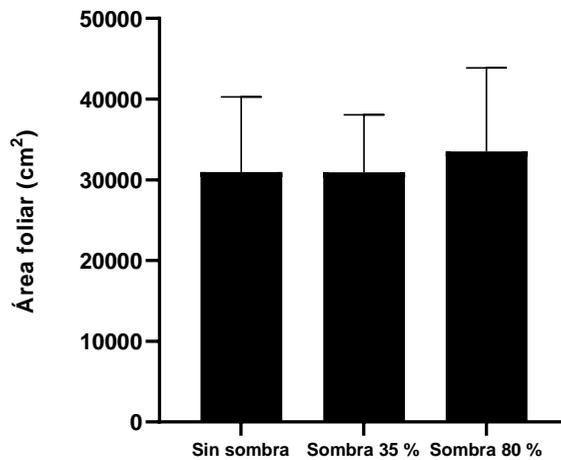


Figura 13. Área foliar de las plantas de cacao clon EETP 801 determinado al final del ensayo. Las barras sobre cada columna indican el error estándar.

6.6. Índice de Área Foliar

Los resultados obtenidos del índice de área foliar al final de la evaluación no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos. El tratamiento con sombra al 80 % alcanzó un índice de 0,24, los tratamientos con sombra al 35 % y sin sombra obtuvieron el mismo índice que fue 0,22 (Figura 14).

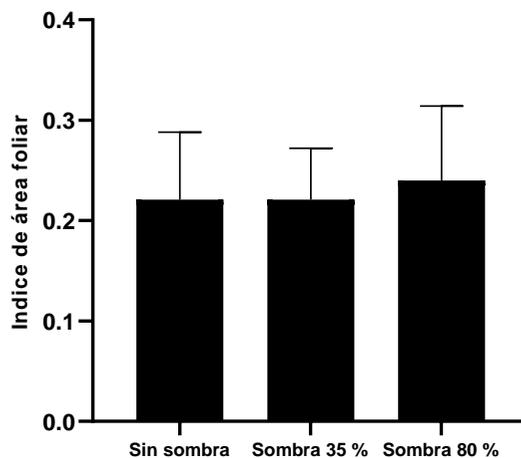
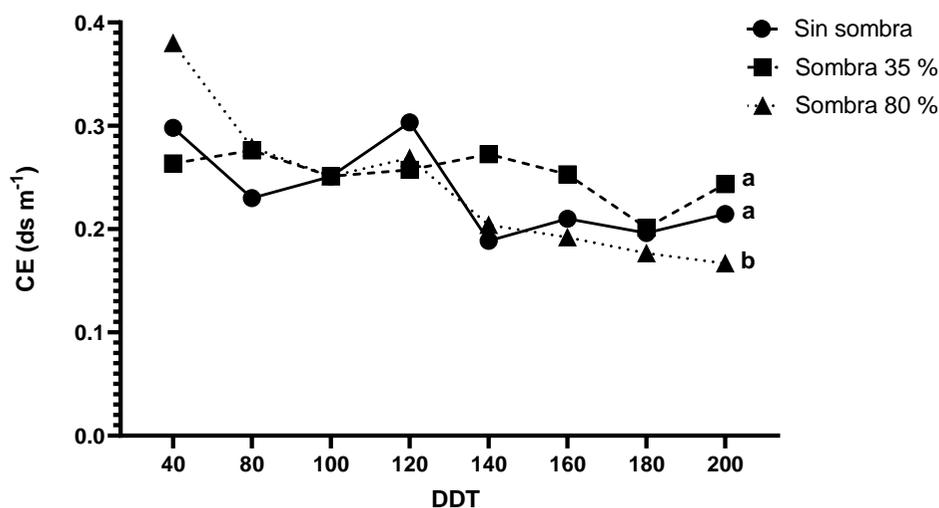


Figura 14. Índice de área foliar del cacao clon EETP 801. Las barras sobre cada columna indican el error estándar.

6.7. Conductividad Eléctrica del Suelo

Los análisis de la conductividad eléctrica hasta los 180 DDT evaluados no presentaron diferencias estadísticas significativas ($p>0,05$) entre los tratamientos, a los 200 DDT (23 meses de edad de las plantas) si existió diferencia significativa ($p=0,0012$; $p<0,05$) (Figura 15). Los tratamientos sin sombra y sombra al 35 % tuvieron las medias mayores a diferencia del tratamiento con sombra al 80 % que obtuvo la menor media, así mismo, este último tuvo una mayor disminución en la CE con respecto a la primera fecha de evaluación donde tuvo la media más alta $0,38 \text{ ds m}^{-1}$ y la final presentó la media más baja que fue de $0,17 \text{ ds m}^{-1}$.

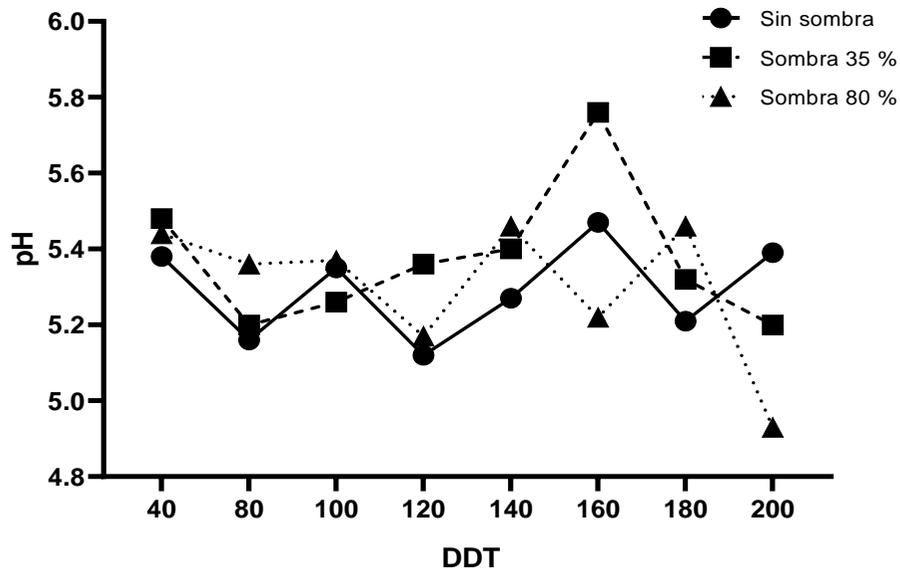


*DDT: Días después del tratamiento

Figura 15. Dinámica de la conductividad eléctrica en los suelos de cacao clon EETP 801. Los datos son promedio de 4 repeticiones. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa, según test de Tukey ($p<0,05$).

6.8. Análisis pH del Suelo

En la Figura 16 se observa el comportamiento del pH, donde no mostro diferencias significativas ($p>0,05$) entre los tratamientos durante los días de evaluación. El rango de pH al finalizar la evaluación fue de 4,9 a 5,4.



*DDT: Días después del tratamiento

Figura 16. Comportamiento del pH en los suelos de cacao clon EETP 801. Los datos son promedio de 4 repeticiones.

6.9. Concentración de Clorofila

La Tabla 6 muestra las medias obtenidas de la clorofila A, clorofila B y clorofila total a los 23 meses de edad de la plantación (200 DDT), donde no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos.

Tabla 6. Clorofila A, B y total en hojas de cacao clon EETP 801 evaluadas al final del ensayo.

Tratamiento	Clorofila A ($\mu\text{g ml}^{-1}$)	Clorofila B ($\mu\text{g ml}^{-1}$)	Clorofila total ($\mu\text{g ml}^{-1}$)
Sin sombra	14,54 ns	7,20 ns	21,74 ns
Sombra 35 %	24,56 ns	12,64 ns	37,19 ns
Sombra 80 %	25,86 ns	10,19 ns	36,05 ns

*ns: no significativo

6.10. Estructura Anatómica

En las secciones transversales del cacao clon EETP 801 se observaron similitud en los tejidos en todos los tratamientos. Se observa la epidermis adaxial en el haz de la hoja, compuesta por células forma rectangular de gran tamaño, mientras que, en el envés se encuentra la epidermis abaxial, las

células que la componen tienen una forma más irregular y pequeñas; en el limbo foliar encontramos: el parénquima en empalizada, constituida por células alargadas y estrechas; el parénquima esponjoso, que en cambio presenta células más pequeñas; y los haces vasculares (Figura 17).

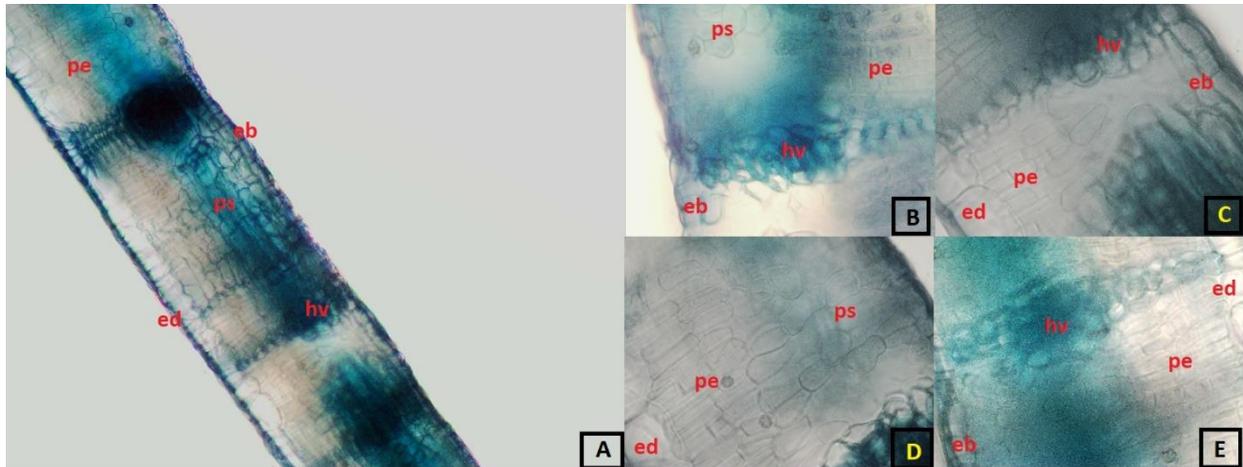


Figura 17. Secciones transversales de la lámina foliar del cacao clon EETP 801. A y B: tratamiento sin sombra. C y D: tratamiento con sombra al 35 % y E: tratamiento con sombra al 80 %. ed: epidermis adaxial, eb: epidermis abaxial, pe: parénquima en empalizada, ps: parénquima esponjoso, hv: haces vasculares.

6.11. Grosor de la Lámina Foliar

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$). El tratamiento sin sombra obtuvo una media de 163,97 μm , los tratamientos con sombra al 35 % y 80 % obtuvieron medias de 156,31 y 150,66 μm respectivamente (Figura 18).

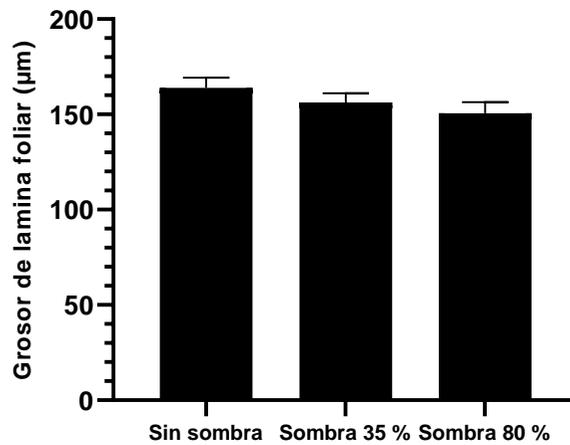


Figura 18. Grosor de la lámina foliar del cacao clon EETP 801. Las barras sobre cada columna indican el error estándar.

6.12. Densidad Estomática

Analizada la densidad estomática, obtuvimos diferencias significativas entre los tratamientos ($p=0,0085$; $p<0,05$), así pues, los tratamientos sin sombra (T1) y sombra al 35 % (T2) obtuvieron las medias más altas a diferencia del tratamiento con sombra al 80 % (T3) que presento la menor media, con una densidad de $708,14$ estomas mm^{-2} (Figura 19).

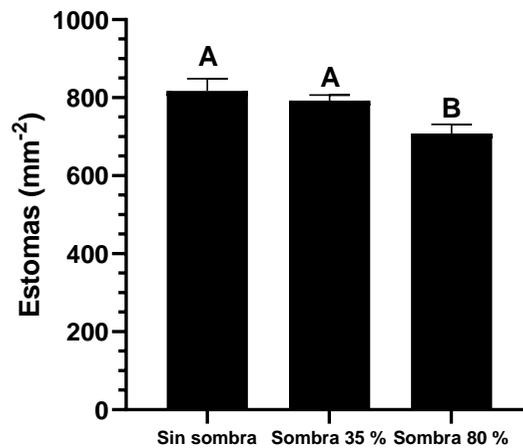


Figura 19. Densidad estomática de las hojas de cacao clon EETP 801, determinadas al final del ensayo. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa, según test de Tukey ($p<0,05$). Las barras sobre cada columna indican error estándar.

6.13. Índice Estomático

En cuanto al índice estomático, los tratamientos presentaron diferencias estadísticas significativas ($p=0,0001$; $p<0,05$). El tratamiento sin sombra obtuvo un índice estomático de 21,45, que fue el de mayor media a diferencia de los tratamientos con sombra al 35 % (T2) y 80 % (T3), obteniendo índices similares correspondientes a 16,08 y 15,74 respectivamente, siendo los que mostraron los menores promedios (Figura 20).

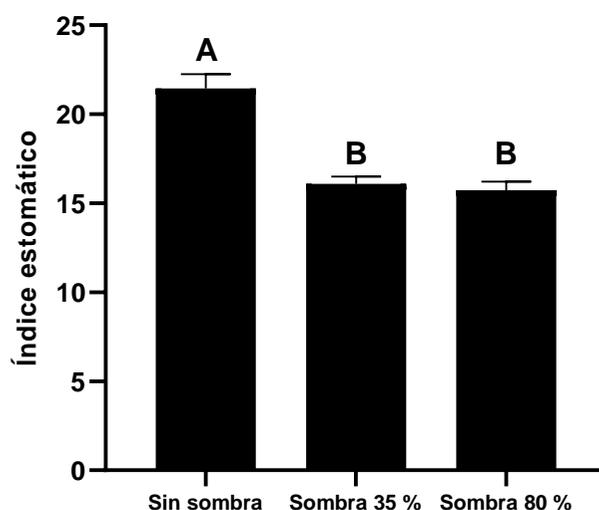


Figura 20. Índice estomático de las hojas de cacao clon EETP 801, evaluados al final del ensayo. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa, según test de Tukey ($p<0,05$). Las barras sobre cada columna indican error estándar.

6.14. Tamaño de Estomas

En la Tabla 7, se observa el tamaño de los estomas a los 23 meses de edad de las plantas, donde no se encontraron diferencias significativas ($p>0,05$) en el ancho de estomas, mientras que, en el largo de estoma y ancho de la célula oclusiva si se observaron diferencias significativas ($p<0,05$; $p=0,0356$ y $p<0,0001$ respectivamente). El tratamiento sin sombra mostró los mayores valores en largo de estoma como también el ancho de célula oclusiva, mientras que, los tratamientos con sombra obtuvieron menores valores para las mismas variables.

Tabla 7. Promedios del ancho y largo de estoma y ancho de célula oclusiva, del cacao clon EETP 801.

Tratamientos	Tamaño de estomas (μm)		
	Ancho estoma	Largo estoma	Ancho célula oclusiva
Sin sombra	15,66 a	14,01 a	5,35 a
Sombra 35 %	15,42 a	13,40 b	4,18 b
Sombra 80 %	15,60 a	13,69 ab	4,19 b

* Letras diferentes indican diferencia estadística significativa, según test de Tukey ($p < 0,05$)

7. DISCUSIÓN

En la presente investigación se evaluó el efecto de tres niveles de sombra sobre parámetros morfológicos y fisiológicos del cacao clon EETP 801, encontrando diferencias estadísticas significativas en variables fisiológicas (densidad estomática, índice estomático, tamaño de estomas y conductividad eléctrica), mientras que, las variables morfológicas no mostraron diferencias significativas.

La altura de planta no se vio afectada por la sombra, esto concuerda con el estudio de Saleh *et al.*, (2022) donde compararon el crecimiento del cacao entre tratamientos con sombra (sistemas agroforestales) y sin sombra, cuyos resultados mostraron una altura similar para los tratamientos; pero también se contradice con Famuwagun *et al.*, (2018) quienes encontraron grandes aumentos de altura de plantas en el tratamiento sin sombra en comparación a las plantas en crecimiento bajo sistemas agroforestales, la interpretación dada por los autores implica que puede haber un efecto negativo por la competencia de los árboles por agua y nutrientes. Por otra parte, Olatunde *et al.*, (2014) demostraron que, en edades tempranas de plantas de cacao, el crecimiento está influenciado por el efecto de la sombra, las plantas sembradas sin sombra tienen menor altura a diferencia de las sembradas bajo sombra donde su altura es mayor.

En cuanto al diámetro de copa, el estudio no mostró diferencia significativa entre los tres tratamientos de sombra, esto contradice el estudio realizado por Montalván (2010), en donde se evaluaron distintas variedades de cacao en diferentes comunidades, que arrojó como resultado que el cacao bajo sombra del 35% ubicado en la comunidad de el Zopilote, alcanzaron un diámetro de copa de 6 m a diferencia del resto de comunidades que tuvieron un mayor nivel de sombra alcanzando promedio que van desde los 3,5 a 5,2 m. Similares resultados obtuvieron Saavedra *et al.*, (2020) encontrando un mayor dosel en plantas de cacao en sistemas agroforestales (con sombra), a diferencia de las plantas del tratamiento sin sombra, además en las mismas plantas obtuvieron una mayor área foliar.

En el área de la sección transversal de tronco, no existieron diferencias significativas entre los tratamientos, en estudios anteriores de Godoy (2021) y Benítez (2021) encontraron correlaciones positivas entre la altura de la planta y el ASTT, en este sentido al no encontrarse ningún efecto de la sombra sobre el crecimiento de las plantas, tampoco mostrará efecto sobre el ASTT. La planta

crece en longitud a medida que hay translocación de nutrientes desde el suelo al tallo, utilizando como medio de transporte el tallo (De Almeida y Valle, 2008).

En la longitud de brote no mostro efecto la sombra ya que no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos contradiciendo a Famuwagun *et al.*, (2018) quienes encontraron mejores resultados de crecimiento (desarrollo de raíces y brotes) en el cacao expuesto a pleno sol. IICA, (2017) menciona que los efectos y beneficios de la sombra ayudan a equilibrar la temperatura de la plantación por lo que reduce la evapotranspiración y por ende aporta materia orgánica a través de residuos que ayuda a la planta para un mejor crecimiento en cada una de sus estructuras. Asimismo, la TCR de los brotes no se vio influenciada por la sombra, resultados diferentes obtuvieron García *et al.*, (2017), quienes mencionan que las plantas fueron afectadas por el nivel de luz, en donde las plantas en luz alta crecieron 37 % más que en la luz baja. Orozco y Thienhaus (1997) afirman que el crecimiento del cacao es una variable muy irregular, ya que, está mayormente ligada al genotipo.

El área foliar de las plantas de cacao EETP – 801 sometidas a tres niveles de sombra no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos, resultados que contrastan a los obtenidos por Saavedra *et al.*, (2020) donde encontraron una mayor área foliar de cacao en el tratamiento con sombra, asimismo, Isaac *et al.*, (2007), observaron que la sombra artificial estimuló el crecimiento de biomasa aérea del cacao, lo que sugiere la existencia de efectos de la regularización de luz en ausencia de competencia subterránea. Villegas *et al.*, (2016), menciona que el área foliar aumenta con la sombra, ya que las plantas tienen la capacidad de ajustarse a un ambiente de menor irradiación aumentando su área foliar, además la baja disponibilidad lumínica induce ajustes a fin de aumentar la capacidad y optimizar la eficiencia de captación de luz, lo que se traduce en el aumento del área foliar.

El índice de área foliar permite estimar la capacidad fotosintética de las plantas y ayuda a entender la relación entre acumulación de biomasa y rendimiento bajo condiciones ambientales imperantes en una región determinada, en el estudio que se realizó se evidencio que no existen diferencias significativas en los tratamientos, resultados diferentes obtuvieron Agele *et al.*, (2016), quienes obtuvieron un índice de área foliar más alto en planta sin sombra (sol abierto) en comparación con los tratamientos de sombra moderada y sombra densa. Carrasco, (2003), afirma que, durante la

fase de crecimiento vegetativo, las plantas requieren niveles bajos de radiación solar (entre 700 a 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de fotones), después de dos años las plantas logran un desarrollo vigoroso de la copa, alcanzando un IAF superior, permitiendo la creación de un microclima interno en el dosel de las plantas (no es necesario el uso de árboles de sombra), favorables para su crecimiento y desarrollo.

La sombra no mostro un efecto significativo en el contenido de clorofila a, b y total, entre los tratamientos, debido a que la clorofila está relacionada con la adaptabilidad de los clones a las condiciones climáticas donde se desarrollan, además de tener relación con el rendimiento de los cultivos (Héctor *et al.*, 2018). En un estudio anterior de Guamán, (2022) considera que la exposición solar no provocó modificación del aparato fotosintético del cacao, al no haber diferencia significativa en el contenido total de clorofila y posiblemente incluso requiera de más luz dadas las condiciones de nubosidad y relieve en la zona de estudio. Diferentes resultados obtuvieron, Suarez *et al.*, (2018), encontrando mayor cantidad de clorofila total en plantas sometidas a un nivel bajo de sombra a diferencia de las plantas sometidas a niveles medios y altos. Gómez, (2002) en su estudio encontró que las plantas bajo sombra el contenido de clorofila (a+b) por unidad de peso es mayor que en las hojas de plantas creciendo a plena exposición solar, afirma también que el aumento está asociado a la capacidad que adquieren las plantas sometidas a bajas cantidades de radiación solar, que les permite aumentar la eficiencia en la captación de luz.

La sombra no afecto a al grosor de la lámina foliar, pues en los tres tratamientos no hubo diferencia estadística significativa, esto en contraposición con Azon-Bieto y Talón, (2008), quienes mencionan que las plantas que crecen en sombra presentan hojas delgadas y anchas, además de un menor grosor en la cutícula. En las hojas de sol, el parénquima en empalizada y parénquima esponjoso son más gruesos, asimismo, la epidermis, el mesófilo esponjoso y los sistemas vasculares están más desarrollados, lo que le darían el mayor grosor a la lámina foliar.

La densidad estomática se vio afectada por la sombra, el tratamiento sombreado al 80 % obtuvo una menor media, a diferencia de los tratamiento sin sombra y sombra al 35 % que presentaron una mayor DE, ya que la radiación solar controla el proceso de transpiración, por ello la planta tiene la capacidad de modificar la anatomía de las hojas aumentando el número de estomas por

unidad foliar (Agüero *et al.*, 2017), en este sentido el aumento del número de estomas contribuye a la disipación del calor (Romero *et al.*, 2020).

En el mismo estudio de Agüero *et al.*, (2017) afirma que la densidad estomática decrece a medida que disminuye la radiación lumínica directa del sol sobre las hojas. Resultados similares obtuvieron De Almeida y Valle, (2007) y Galyuon *et al.*, (1998), encontrando mayor densidad estomática en plantas sometidas a pleno sol.

El índice estomático (IE) representa el cociente entre el número de estomas y la cantidad de células epidérmicas Perez *et al.*, (2004), en el presente estudio el IE se vio afectado por la sombra, encontrando un mayor IE en el tratamiento sin sombra, y el menor IE lo presentaron los tratamientos con sombra (T2 y T3), esto debido a que existe una relación entre el IE y el aumento de tamaño de las células epidérmicas; y este aumento de tamaño a su vez tendría relación con la optimización de la capacidad de almacenar agua en hojas expuestas al sol (Toral *et al.*, 2010).

El tamaño de los estomas también se vio afectada por el efecto de la sombra, los tratamientos con sombra al 35 % y 80 % (T2 y T3 respectivamente) mostraron estomas más cortos y células oclusivas más angostas, a diferencia del tratamiento sin sombra (T1) que mostro valores mayores, debido a que el tamaño de los estomas es un factor clave en el proceso de aclimatación al estrés hídrico y este puede aumentar para resistir una mayor radiación solar Aasaman *et al.*, (2001). La mayoría especies pueden ajustar el tamaño del estoma como la densidad estomática, para modificar su intercambio de gases y así adaptarse a las condiciones ambientales predominantes (Harrison *et al.*, 2020). Estos resultados concuerdan con los encontrados por Saavedra *et al.*, (2020), donde, los estomas más grandes se presentaron en plantaciones de cacao sin sombra a diferencia de los encontrados en hojas bajo sombra.

Los resultados de la DE y el tamaño de los estomas parece tener una relación directa, a una mayor DE, mayor tamaño de estoma y célula oclusiva, esto contrasta con Carr & Lockwood, (2011), donde afirman que la relación es inversa entre las dos variables, es decir que, a una mayor DE el tamaño de las células oclusivas es menor. Esta relación inversa se ha observado en las respuestas plásticas del desarrollo a los cambios en el entorno y también durante la adaptación evolutiva a largo plazo Bertolino *et al.*, (2019).

La conductividad eléctrica del suelo a los 200 DDT presento un menor valor en el tratamiento con sombra al 80 % (T3). Autores como Brito *et al.*, (2018) y Simón *et al.*, (2013) afirman que la conductividad eléctrica esta influenciada por algunas propiedades fisicoquímicas del suelo, entre ellas la humedad y el pH. En este contexto, la disminución de la CE del T3 a los 200 DDT se puede atribuir al pH, ya que, también disminuyó, presentando una media de 4,9; y además a la humedad del suelo, esto a presunción de que la humedad sea mayor en el tratamiento con mayor sombra(T3). A pesar de ello, los resultados en todos los tratamientos nos arrojaron valores de CE inferiores a 1 dS m^{-1} , es decir que el suelo no presentó problemas de sales, por lo tanto, es ideal para el desarrollo del cultivo, tal y como lo menciona Barrezueta, (2019) que suelos con CE mayores a 1 dSm^{-1} la planta tendrá que esforzarse más para poder absorber nutrientes.

En cuanto al pH, en el sector donde se realizó el ensayo es ácido, ya que, al hacer el análisis de suelo se determinó que posee un pH de 5,4 (Anexo 1), que según por lo dicho por Patiño *et al.*, (2017), las plantas de cacao toleran un pH de 5,0 a 7,5; fuera de estos rangos se deben realizar correcciones al suelo antes de implementar este cultivo. En el presente estudio no se encontraron diferencias significativas en los análisis del pH, por lo que se podría explicar que no hay una relación de la sombra con el pH del suelo, la sombra no está relacionada al pH del suelo, así como también menciona Sánchez *et al.*, (2003), que los valores de pH varían en cada uno de los momentos de evaluación por el contenido de sales, actividad biológica del suelo y épocas secas o de invierno.

8. CONCLUSIONES

Los diferentes niveles de sombra en etapa vegetativa de *Theobroma cacao* L. clon EETP 801, no afectaron de manera significativa sobre las variables morfológicas: altura de planta, longitud de brote, TCA y TCR del brote, área de sección transversal del tronco, diámetro de copa, área foliar e índice de área foliar.

Al no presentar diferencias estadísticas significativas en las variables morfológicas, se deduce que en clon EETP 801 puede no necesitar sombra en la etapa vegetativa del cultivo en la zona de Zamora Chinchipe.

El efecto de la sombra se evidenció en las variables fisiológicas como: densidad estomática, índice estomático, tamaño de los estomas, obteniendo menores valores; mientras que, en la concentración de clorofila y el ancho de la lámina foliar no se encontró efecto significativo de la sombra, esto puede significar ligeras estrategias de adaptabilidad del clon EETP – 801 a entornos con diferente luminosidad.

La sombra al 80 % afectó a la conductividad eléctrica del suelo a diferencia de los otros tratamientos, disminuyendo de $0,38 \text{ ds m}^{-1}$ hasta alcanzar un valor de $0,17 \text{ ds m}^{-1}$ al final del trabajo.

9. RECOMEDACIONES

Seguir con la investigación en la etapa de producción, así observar cómo influye la sombra en el rendimiento del clon EETP 801 en Zamora Chinchipe. Además, estudiar parámetros del fruto y semilla.

Hacer una investigación sobre comparación de la sombra artificial y sombra bajo sistemas forestales, así observar los factores que pudieran incidir para tener un mejor crecimiento o/y rendimiento, asimismo cuál de estos sistemas de sombra sería la más adecuada.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Aasaman, K., Sober, A., & Rahi, M. (2001). Leaf anatomical characteristic associated with shoot hydraulic conductance, stomatal conductance and stomatal sensitivity to changes of leaf water status in temperate deciduous trees. *Aust. J. Plant Physiol.* 28: 765-774.
- Abad, A., Acuña, C., & Naranjo, E. (2019). El cacao en la Costa Ecuatoriana. *Revista Internacional de Administración*, pp. 3-4.
- Agele, S., Famuwagun, B., & Ogunleye, A. (2016). Effects of Shade on Microclimate, Canopy Characteristics and Light Integrals in Dry Season Field-Grown Cocoa (*Theobroma cacao* L.) Seedlings. *Journal of Horticultural Sciences*, 11(1), 47-56.
- Agüero, k., Carpio, B., Chaves, K., Gómez, J., & Lindwedel, A. (2017). Densidad estomática de *Mangifera indica* con respecto a la exposición solar. *Revista de investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias- UNR*.
- Asociación Nacional del Café (ANACAFÉ, Julio de 2004). *Cultivo de Cacao*. Obtenido de Infocafes: <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/05/Cultivo-de-Cacao.pdf>
- Arvelo, M., Delgado, T., González, D., Maroto, S., & Montoya, P. (2017). *Manual Técnico del Cultivo de Cacao*. Obtenido de IICA: <https://repositorio.iica.int/bitstream/11324/6181/1/BVE17089191e.pdf>
- Arvelo M., Delgado, T., Maroto, S., Rivera, J., Higuera, I., & Navarro, A. (2016). Estado actual sobre la producción y el comercio del cacao en América.
- Asare, R., Asante, W., Markussen, B. & Ræbild, A. (2017). Influences of Shading and Fertilization on on-farm Yields of Cocoa in Ghana. *Experimental Agriculture*, 53(3), 416-431.
- Asociación Nacional de Exportadores de Cacao – Ecuador (ANECACAO, 2017). *Productividad y competitividad, la base para el éxito de la cadena agroexportadora*. Guayaquil – Ecuador. Obtenido de

<http://www.anecacao.com/index.php/es/noticias/productividad-ycompetitividad-la-base-para-el-exito-de-la-cadena-agroexportadora.html>

Asociación Nacional de Exportadores de Cacao – Ecuador (ANECACAO, 2019). *Sector Exportado de Cacao*. Guayaquil – Ecuador. Obtenido de: <http://www.anecacao.com/uploads/estadistica/cacao-ecuador-2019.pdf>

Azcon-Bieto. J y Talón. M. (2008). *Fundamentos de Fisiología vegetal*. Segunda edición. McGRAW-HILL. INTERAMERICANA. 651pg.

Barrezueta-Unda, S. (2019). Propiedades de algunos suelos cultivados con cacao en la provincia El Oro, Ecuador. *CienciaUAT*, 14(1), 155-166.

Barrientos-Priego, A., Borys, M., Trejo, C., López, L. (2003). Índice y Densidad Estomática Foliar en Plántulas de tres Razas de Aguacatero. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26 (4): 285-290.

Batista, L. (2009). *El cultivo de cacao*. Santo Domingo: Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal.

Benítez, J. (2021). Influencia de tres niveles de sombra sobre parámetros morfo – fisiológicos en la etapa vegetativa de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN-51 en la provincia de Zamora Chinchipe, sector “El Padmi”. *Tesis de Ingeniero Agrónomo*. Loja, Ecuador. Universidad Nacional de Loja. Obtenido de: https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/24257/1/Ben%c3%adtezVivar_Jos%c3%a9Alejandro.pdf

Bertolino, L., Robert S., & Julie E. Gray. (2019). Impact of stomatal density and morphology on water-use efficiency in a changing world. *Frontiers in plant science* 10: 225.

Blaser, J., Opong, J., Yeboah, E., & Six, J. (2017). Shade trees have limited benefits for soil fertility in cocoa agroforests. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 243, 83-91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.04.007>

- Brito, H., Salaya, M., Gómez, E., Gómez, A., & Antele, J. (2018). Physico-chemical properties of soil and pods (*Theobroma cacao* L.) in cocoa agroforestry systems. *Journal of Agronomy*, 17(1), 48-55.
- Carrasco, L. (2009). Efecto de la radiación ultravioleta-B en plantas. *Idesia (Arica)*, 27(3), 59-76.
- Carr, M., & Lockwood, G. (2011). The water relations and irrigation requirements of cocoa (*Theobroma cacao* L.): A review. *Expl Agric.*, 47(4), 653–676.
- Climate-data.org. (2020). Clima Yantzaza. Recuperado en: <https://es.climatedata.org/americadel-sur/ecuador/provincia-de-zamora-chinchipe/yantzaza-25493/>
- Cueva, A. (2013). Cacao. Sombreamiento, agroforestería, nutrición, fertilización, fisiología. Universidad Nacional de San Martín. Facultad deficiencias agrarias. Tarapoto– Perú. Disponible en URL: <http://iiap.org.pe/Archivos/Convenio/Proyecto/69.pdf>.
- Dardengo, J. D. F. E., Rossi, A. A. B., Silva, I. V. D., Pessoa, M. J. G., & Silva, C. J. D. (2017). Analysis of the luminosity on the anatomical aspects of *Theobroma speciosum* WILLD. Ex spreng.(Malvaceae) leaves. *Ciência Florestal*, 27(3), 843-851.
- De Almeida, J., Herrera, A., & Tezara, W. (2019). Phenotypic plasticity to photon flux density of physiological, anatomical and growth traits in a modern Criollo cocoa clone. *Physiologia plantarum*, 166(3), 821-832.
- De Almeida, A., & Valle, R. (2007). Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19, pp. 425-448.
- De Souza Guimarães, E., Oliveira, M. F., & Santo da Costa, W. (2019). Estrutura interna foliar de duas espécies de theobroma (malvaceae). *Fórum de Integração Ensino, Pesquisa, Extensão e Inovação Tecnológica do IFRR-e-ISSN 2447-1208*, 6(1).

- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C., & InfoStat versión. (2019). Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Dostert N, Roque J, Cano A, La Torre M & Weigend M. (2012). Hoja botánica: Cacao *Theobroma cacao* L. D38/08-19. Lima – Perú.
- Espinosa, J., Mite, F., Cedeño, S., Barriga, S., & Andino, J. (2012). GIS-based site-specific management of cocoa. *Better Crops*, 90(1), 36-39.
- Famuwagun, I., Agele, O., & Aiyelari, P. (2018). 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.
- Fernández, J., Mejía, R., & Puerta, A. (2012). *El cultivo de Cacao*. Obtenido de INFOCAFES: http://infocafes.com/portal/wp_content/uploads/2016/12/paquete_tecnologico_cacao_cach_enero_2012.pdf
- Flores, J. C. M., Páramo, Y. J. P., & PATIÑO, G. R. (2017). Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana.
- Galyuon, I., Mc David, R., Lopez, B., & Spence, A. (1996). The effect of irradiance level on cocoa (*Theobroma cacao* L.): I. Growth and leaf adaptations. *Tropical agriculture*, 73(1).
- García Castro, K. D., Romo-Campos, R. D. L., Pereira, C. J., & Gómez-Rubio, R. (2018). Tasa relativa de crecimiento en plántulas de dos poblaciones de *Magnolia pugana* (Magnoliaceae) en distintos niveles de luz y fertilidad del suelo. *Revista de Biología Tropical*, 66(2), 622-633.
- GeoHack. (2020). *Ubicación Geográfica de Yantzaza*. Obtenido de GeoHack: https://geohack.toolforge.org/geohack.php?language=es&pagename=Yantzaza¶ms=-3.85_N_-78.75_E_type:city
- Godoy, P. (2021), Influencia de dos niveles de nutrición y dos niveles de sombra, sobre parámetros fisiológicos y de crecimiento en la etapa vegetativa de cacao (*Theobroma*

cacao L.) clon eetp-801, en Zamora Chinchipe. *Tesis de Ingeniero Agrónomo*. Loja, Ecuador. Universidad Nacional de Loja. Obtenido de: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23992/1/Paola%20Daniela%20Goday%20Betancourt.pdf>

Gómez, A. (2002). Efecto de diferentes intensidades de luz sobre el intercambio gaseoso y desarrollo del cacao criollo guasare. *Trabajo de grado. Postgrado de Ecología Tropical, Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE)*, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

Guamán, A. (2022). Influencia de distintos niveles de sombra en las características morfológicas y fisiológicas en el crecimiento temprano del cacao (*Theobroma cacao* L) clon EETP-800 en la provincia de Zamora Chinchipe. *Tesis de Ingeniero Agrónomo*. Loja, Ecuador. Universidad Nacional de Loja. Obtenido de: https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/24564/1/AlexOswaldo_%20GuamanGuaman.pdf

Harrison, E., Arce Cubas, L., Gray, J., & Hepworth, C. (2020). The influence of stomatal morphology and distribution on photosynthetic gas exchange. *The Plant Journal*, 101(4), 768-779.

Héctor, E., Torres, A., Fosado, O., Álava, J., Sancán, G., & León, R. (2018). Contenido de clorofilas totales en doce clones de cacao (*Theobroma cacao* L.). *La Técnica: Revista de Las Agrociencias*. ISSN 2477-8982, 20(20), 11.

Hochmaier, E. (2010). Desarrollo y evaluación de métodos prácticos no destructivos para la estimación del Área Foliar (AF) por árbol y cálculo del Índice de Área Foliar (IAF) en montes de cerezo (*Prunus avium* L.) *Doctoral dissertation, EEA Alto Valle-Università degli studi di Bologna*.

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2001). Cantón Yantzaza. Obtenido de ECUADORENCIFRAS: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Fasciculos_Censales/Fasc_Cantoniales/Zamora_Chinchipe/Fasciculo_Yantzaza.pdf

- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP, 2018). *Clon EETP - 801*. (agosto 05, 2020). Obtenido de: <http://tecnologia.iniap.gob.ec/images/rubros/contenido/cacao/8011.pdf>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP, 2019). *La Cadena de Valor del Cacao en América Latina y El Caribe*. Quito, Ecuador: INIAP - Ed. pp. 49 – 62.
- Isaac, M., Ulzen, F., Timmer, V., & Quashie, S. (2007). Crecimiento temprano y respuesta nutricional a la competencia de recursos en sistemas de cultivos intercalados de sombra de cacao. *Plant Soil* 298: 243-254.
- Jerez, A. (2017) *El mundo quiere cacao*. Divulgación científica, N°1. Universidad del Rosario. Bogotá, Colombia. pp. 83-85.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP, 2012). Buenas Prácticas Agrícolas para Cacao Ecuador. p. 66
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, 2018). *Rendimientos de cacao almendra seca (Theobroma cacao) en el Ecuador 2017*. Quito – Ecuador. Obtenido de: http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/estudios/rendimientos/cacao/rendimiento_cacao_2017.pdf
- Montalván Castellón, O. (2013). Identificación de árboles potenciales de (*Theobroma cacao* L.) en Siuna y Rosita, junio 2009-junio 2010. *Revista Ciencia e Interculturalidad*, 12(2), 128-140.
- Nakayama, L. H. I., Soares, M. K. M., & Appezzato-da-Glória, B. (1996). Contribuição ao estudo anatômico da folha e do caule do cacauero (*Theobroma cacao* L.). *Scientia Agricola*, 53, 73-73.
- Olatunde, F. A., Oaikhen, I. G., Ojo, A. O. S., Olufemi, A. K., & Babatunde, A. K. (2014). Effects of Plantain (*Musa* species) as Shade on the Growth Performance of Cocoa Seedlings in the Nursery at Ibadan, Southwest, Nigeria. *Natural Science*, 2014.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO. 2010). *La cadena de valor del cacao en el Ecuador: Diagnostico actual*. Guayaquil – Ecuador. Obtenido de: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/olq/documents/Ecuador/ppp/taller%20nacional%20ecuador/2DiagnosticoCadenaCacao.pdf>
- Orozco, M., & Thienhaus, S. (1997). Efecto de la gallinaza en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en desarrollo. *Agronomía Mesoamericana*, 8(1):81-92.
- Ortega, G. (2019). *Buenas Prácticas de manejo en el Cultivo de Cacao*. Obtenido de RIKOLTO: https://assets.rikolto.org/paragraph/attachments/recomendaciones_vf.pdf
- Pacheco, M., García, P., y Pombal, M. (2020). «Inclusión del parafinado». Atlas de histología vegetal y animal. *Técnicas histológicas* (blog). 2020. <https://mmegias.webs.uvigo.es/6-tecnicas/3-parafina.php>.
- Rangel, S. (2014). Efecto del régimen lumínico en la respuesta fotosintética y características morfo-anatómicas de *Heliconia bihai* (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD DE LOS ANDES).
- Rodés, R., y Collazo, M. (2006). «Manual de prácticas de Fotosíntesis». Universidad Nacional Autónoma de México.
- Romero, E., Sánchez, R., Sumich, J., Añino, Y. J., & Lopez, O. R. (2020). Variaciones morfométricas y densidad estomática en hojas de mangifera indica bajo condiciones lumínicas contrastantes. *Tecnociencia*, 22(1), 66-75.
- Saavedra, F., Jordan Peña, E., Schneider, M., & Naoki, K. (2020). Effects of environmental variables and foliar traits on the transpiration rate of cocoa (*Theobroma cacao* L.) under different cultivation systems. *Agroforestry Systems*, 94(5).
- Saleh, A., Gusli, S., Ala, A., Neswati, R., & Sudewi, S. (2022). Tree density impact on growth, roots length density, and yield in agroforestry based cocoa. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(1).

- Sánchez, R., Palma, D., Obrador, J., & López, U. (2003). Efectos de los rastrojos sobre las propiedades físicas y químicas de un suelo vertisol y rendimientos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en Tabasco, México. *Interciencia* 28(7): 404-407.
- Simón, M., Peralta, N., & Costa, L. (2013). Relación entre la conductividad eléctrica aparente con propiedades del suelo y nutrientes. *Ciencia del suelo*, 31(1), 45-55.
- Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (SINAGAP, 2016). *Boletines Zonales Integrales y Temáticos - Zona 7*. Ministerio de Agricultura, Machala – Ecuador. Obtenido de: <http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/edicionimpresa/2016/diciembre/diciembre-16-zona-7.pdf>
- Suárez, C., Melgarejo, M., Casanoves, F., Di Rienzo, A., DaMatta, M., & Armas, C. (2018). Photosynthesis limitations in cacao leaves under different agroforestry systems in the Colombian Amazon. *Plos One*, 13(11).
- Toral, M., Manríquez, A., Navarro, R., Tersí, D., & Naulin, P. (2010). Características de los estomas, densidad e índice estomático en secuoya (*Sequoia sempervirens*) y su variación en diferentes plantaciones de Chile. *Bosque (Valdivia)*, 31(2), 157-164.
- Villegas-Retana, S. A., & Chavarría-Soto, M. (2016). Morfometría foliar y clorofila de *Piper reticulatum* (Piperaceae) en luz y sombra en la Estación Biológica La Selva, Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED*, 8(2), 255-258.
- Vliet, A., & Giller, E. (2017). Mineral nutrition of cocoa: a review. In *Advances in Agronomy* (Vol. 141, pp. 185-270). *Academic Press*.
- Wilkinson, H. (1979). The plant surface (mainly leaf). *Anatomy of the Dicotyledons*, 1, 97-165.

Anexo 2. Cálculos de dosis de corrección del Boro

Para determinar el déficit y las dosis de corrección se utilizaron las siguientes formulas:

Déficit:

$$D = V. \textit{optimo} - V. \textit{disponible}$$

$$D = 0,5 \textit{ ppm} - 0,15 \textit{ ppm}$$

$$D = 0,35 \textit{ ppm}$$

Dosis de corrección:

$$DC = \frac{\textit{déficit} \times \textit{prof. raiz} \times \textit{densidad aparente} \times 10}{\textit{eficiencia}}$$

$$DC = \frac{0,35 \textit{ ppm} \times 0,2 \times 1,3 \times 10}{0,26}$$

$$DC = 3,5 \textit{ kg ha}^{-1}$$

Dosis de aplicación de ácido bórico al 17 %

$$1 \textit{ kg B(OH)}_3 \quad 0,17 \textit{ Kg B}$$

$$X \quad 3,5 \textit{ kg B}$$

$$X = 20,6 \textit{ kg B(OH)}_3 \textit{ ha}^{-1}$$

Aplicación por planta

$$\frac{20,6 \textit{ kg}}{714 \textit{ plantas}} = 0,029 \textit{ kg planta}^{-1} = \mathbf{0,29 \textit{ gr planta}^{-1}}$$

La aplicación de la dosis de corrección se la hizo en 6 aplicaciones cada 20 días.

$$\frac{0,29 \textit{ gr/planta}}{6} = \mathbf{4,8 \textit{ gr planta}^{-1}}$$

Anexo 3. Análisis de concentración de clorofila

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO MATRIZ PARA ENTREGA DE RESULTADOS						
Código de ingreso	LAQ-16004	Fecha de ingreso	27.09.2021	Tipo de muestra	Hojas frescas de cacao	Número Total de muestras	82	
Lugar de procedencia de la muestra				Quinta Experimental "El Páden", Los Encuentros, Yacuto		Tipo de muestreo		Se desconoce
Nombre del usuario				Ing. Johnny Fernando Granjo Travez		Cl.	171270229	
Programa/proyecto								Efecto de la radiación fotosintéticamente activa sobre cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en la Región Sur del Ecuador y sus implicaciones agronómicas
Técnico Responsable del Análisis				Ing. Agro. Tania Sorango		Fecha de entrega	06.10.2021	
<small>*Las datos de clorofila fueron medidos espectrofotométrico UV-1800 Fórmulas utilizadas: Valores en de extracto 30 ml, peso de hoja 1 g. $C_a \left(\frac{\mu g}{g}\right) = [(117 \times A_{663}) - (2,49 \times A_{645})] \times \frac{\text{volumen del extracto en ml}}{\text{peso de la hoja (g)}}$ $C_b \left(\frac{\mu g}{g}\right) = [(219 \times A_{645}) - (4,40 \times A_{663})] \times \frac{\text{volumen del extracto en ml}}{\text{peso de la hoja (g)}}$ $C_{\text{total}} \left(\frac{\mu g}{g}\right) = [(202 \times A_{663}) + (882 \times A_{645})] \times \frac{\text{volumen del extracto en ml}}{\text{peso de la hoja (g)}}$ </small>								

N°	Tesista	Tratamiento	Absorbancia		Ca	Cb	C Total
			Long 663	Long 645			
1	Leticia Valdez	T1R1P3	0,153	0,068	17,60	8,41	26,01
2		T2R2P2	0,108	0,051	12,34	6,62	18,96
3		T1R4P11	0,158	0,073	18,10	9,32	27,42
4		T2R1P1	0,09	0,041	10,33	5,18	15,50
5		T2R2P2	0,164	0,075	18,81	9,50	28,30
6		T2R5P5	0,165	0,074	18,96	9,22	28,18
7		T3R1P4	0,097	0,044	11,14	5,54	16,67
8		T3R2P7	0,331	0,157	37,81	20,46	58,26
9		T3R4P13	0,082	0,044	9,23	6,24	15,46
10	Byron Iapo	P3T1R1	0,103	0,048	11,79	6,17	17,96
11		P5T1R2	0,197	0,088	22,65	10,93	33,58
12		P16T1R3	0,08	0,036	9,19	4,50	13,69
13		P4T2R1	0,254	0,108	29,35	12,84	42,19
14		P9T2R2	0,206	0,107	23,28	14,86	38,14
15		P17T2R3	0,183	0,082	21,04	10,21	31,24
16		T3P1R1	0,258	0,099	30,10	10,60	40,69
17		P6T3R2	0,156	0,062	18,14	6,90	25,04
18		P18T3R3	0,254	0,109	29,33	13,07	42,39
19	Neiva Gallegos	T1R1P6	0,334	0,145	38,52	17,57	56,08
20		T1R1P9	0,308	0,136	35,46	16,73	52,17
21		T1R2P11	0,213	0,099	24,39	12,70	37,08
22		T2R1P7	0,249	0,111	28,64	13,77	42,39
23		T2R3P16	0,33	0,145	38,01	17,76	55,76
24		T2R3P10	0,512	0,229	58,86	28,48	87,32
25		T3R1P3	0,408	0,179	47,00	21,90	68,88
26		T2R2P8	0,283	0,13	32,44	16,53	48,96
27		T3R3P14	0,364	0,162	41,87	20,06	61,92
28	Jhuliana Romero	T1R1P3	0,058	0,024	6,72	2,78	9,50
29		T1R2P5	0,079	0,034	9,12	4,09	13,20
30		T1R3P7	0,119	0,061	13,47	8,40	21,87
31		T2R1P2	0,203	0,094	23,25	12,03	35,27

Anexo 4. Fenología del cacao

Etapa de crecimiento principal 0: Germinación de semillas / propagación vegetativa

Dos Dígitos	Tres Dígitos	Descripción
00	000	Semillas frescas / esquejes ortotrópicos con cuatro o cinco hojas medio Recortadas
01	001	Imbibición de semillas / esquejes plantados en medios de enraizamiento; sin callos visibles
02		Protuberancia de la radícula a través de la capa de la semilla / La formación del callo comienza en los esquejes ortotrópicos; la raíz del golpecito (emergencia)
03		Hipocótilo visible; alargamiento de la radícula/Iniciación del crecimiento horizontal de las raíces primarias
05		Primeras raíces laterales visibles/Orientación vertical del crecimiento de la raíz primaria
07		El hipocótilo forma un gancho; el cotiledón emerge del suelo/ brotes terminales o laterales de los cortes ortotrópicos se rompen
09	009	Elongación del hipocótilo completada; los cotiledones están en posición vertical, pero aún desplegados/Crecimiento de la terminal o los brotes laterales en un brote principal vertical

Etapa de crecimiento principal 1: Desarrollo de las hojas en el brote principal de la planta joven y en las ramas de abanico

Dos Dígitos	Tres Dígitos	Descripción
10	100	Cotiledón completamente desplegado Las estípulas que rodean el brote terminal en el brote principal o las ramas en abanico se separan y el brote se hincha.
11	110	Hoja desplegándose en la primera descarga. Las hojas son de color verde pálido o rojo
	111	La expansión de la hoja es el 10% del tamaño final (emergencia)
	112	La expansión de la hoja es el 20% del tamaño final
	115	La expansión de la hoja es el 50% del tamaño final
	119	El crecimiento de la primera escalera está completo. Las hojas son de color verde oscuro con una superficie máxima
12	120	La hoja se despliega en la segunda descarga. Las hojas son de color verde pálido a rojo
	121	La expansión de la hoja es el 10% del tamaño final
	122	La expansión de la hoja es el 20% del tamaño final
	125	La expansión de la hoja es el 50% del tamaño final
19	129	El crecimiento de la segunda escalera se ha completado
	190	Nueve o más rubores completamente maduros

Etapas de crecimiento principal 2: Alargamiento del tallo principal, formación de la joroba de ramas de abanico y chupón

Dos Dígitos	Tres Dígitos	Descripción
20	200	El brote derivado de la planta de semillero muestra un 10% de crecimiento.
11	202	Dispara con un 20% de crecimiento
	203	Dispara con un 30% de crecimiento
	205	Dispara con un crecimiento del 50%
	209	El brote alcanza su madurez fisiológica y el crecimiento de su meristema apical se detiene
21	210	El primer chupón aparece bajo la primera jorqueta con un 10% de Crecimiento
	211	El primer chupón aparece bajo la primera jorqueta con un 10% de Crecimiento
	212	Primer chupón con un 20% de crecimiento
	215	Primer chupón con un 50% de crecimiento
	219	El primer chupón alcanza su madurez fisiológica y el crecimiento de su meristema apical se detiene
22	220	Formación de la segunda jorqueta y posteriormente del segundo chupón
	221	El segundo chupón aparece bajo la primera jorqueta con un 10% de Crecimiento
	222	Segundo chupón con un 20% de crecimiento
	223	Segundo chupón con un 50% de crecimiento
	229	El segundo chupón alcanza su madurez fisiológica y el crecimiento de su meristema apical se detiene
23	230	Formación de la tercera jorqueta y posteriormente del tercer chupón
	231	El tercer chupón aparece bajo la tercera jorqueta con un 10% de Crecimiento
	232	Tercer chupón con un 20% de crecimiento
	233	Tercer chupón con un crecimiento del 50%
	239	El tercer chupón alcanza su madurez fisiológica y el crecimiento de su meristema apical se detiene
29	290	Formación de una novena o más jorquitas y posteriormente una novena o más chupones
	291	Novena o más chupón aparece bajo la novena jorqueta con un 10% de Crecimiento
	292	Novena o más chupón con un 20% de crecimiento
	293	Novena o más chupón con un 30% de crecimiento
	295	Novena o más chupón con un 50% de crecimiento
	299	El último chupón alcanza su madurez fisiológica y el crecimiento de su meristema apical se detiene

Etapa de crecimiento principal 3: Alargamiento de la rama de abanico

Dos Dígitos	Tres Dígitos	Descripción
31	301	Jorqueta de ramas de abanico primario visible
32	302	Rama de ventilador primario con 20 ramas de ventilador secundario
35	305	Rama de ventilador primario con 50 ramas de ventilador secundario
39	309	Rama de ventilador primario con 90 o más ramas de ventilador secundario

Estadio principal de crecimiento 5: Emergencia de la inflorescencia

Dos Dígitos	Tres Dígitos	Descripción
51	501	Capullos de flores visibles (capullos primordium 150 µm de ancho)
52	502	Yemas florales expandidas, aparición de la primordia sepal (yema de <1 mm de largo)
55	505	Capullos florales expandidos, los sépalos encierran el capullo (capullo de 1-2 mm de largo)
56	506	Capullo floral expandido, aparición del pedículo (capullo de 2-3 mm de largo)
58	508	Capullo floral expandido, el capullo pasa de verde a blanco (capullo de 2-4 mm de largo)
59	509	Crecimiento completo del capullo floral (capullos de 6 mm de longitud y 3 mm de tamaño; pedículo de 14 mm), capullos todavía cerrados

Etapa principal de crecimiento 6: Floración

Dos Dígitos	Tres Dígitos	Descripción
60	600	Las primeras flores se abren
61	601	Comienzo de la floración
62	602	El 10% de las flores se abren
65	605	El 50% de las flores se abren
69	609	El 90% de las flores se abren

Etapa principal de crecimiento 7: Desarrollo del fruto

Dos Dígitos	Tres Dígitos	Descripción
70	700	Frutos en el tallo principal o ramas visibles
71	701	Comienzo del crecimiento de los frutos. Celularización del endospermo, desarrollo del óvulo y del pericarpio. Comienzo de la fase de marchitamiento. Los frutos han alcanzado el 10% del tamaño final (cigoto inactivo)
72	702	División del cigoto y desarrollo preliminar del embrión. Los frutos se hinchan. Los frutos han alcanzado el 20% del tamaño final

75	705	Fin de la fase de marchitamiento D/L 0,35. Los frutos han alcanzado el 50% del tamaño final
76	706	Comienzo de la fase de no dilatación. Ovulo lleno de gelatina como el endospermo. Las frutas han alcanzado el 60% del tamaño final
77	706	Grasa, proteínas de almacenamiento y antocianinas acumuladas en los cotiledones. El endospermo es gradualmente reabsorbido por el embrión. Las frutas han alcanzado el 70% del tamaño final
79	709	Los embriones han crecido completamente, sólo quedan restos de endospermo alrededor de los cotiledones carnosos. El aumento en el exterior la dimensión de la fruta cesa. Los frutos han alcanzado el 90% del tamaño final

Estado de desarrollo principal 8: Maduración del fruto y la semilla

Dos Dígitos	Tres Dígitos	Descripción
81	801	Cambio del color del fruto de verde o rojo a amarillo o naranja
85	805	Aumento de la intensidad del color de la fruta
89	809	El fruto está completamente maduro, unido al tallo principal o a las ramas y puede ser cosechado con cuchillo o con alfiler

Estadio principal de crecimiento 9: Senescencia

Dos Dígitos	Tres Dígitos	Descripción
90	900	Flush completó su desarrollo, las hojas aparecen de color verde oscuro
92	902	Las hojas más viejas comienzan a decolorarse de verde oscuro a amarillo
95	905	Formación de la zona de abscisión en la basa de las hojas viejas
98	908	Absorción de hojas viejas
99	909	Tratamientos posteriores a la cosecha o al almacenamiento

Anexo 5. Fotografías



Figura 21. Toma de datos de las diferentes variables. **A:** Altura de planta. **B:** Perímetro del tallo. **C:** Largo de brote.

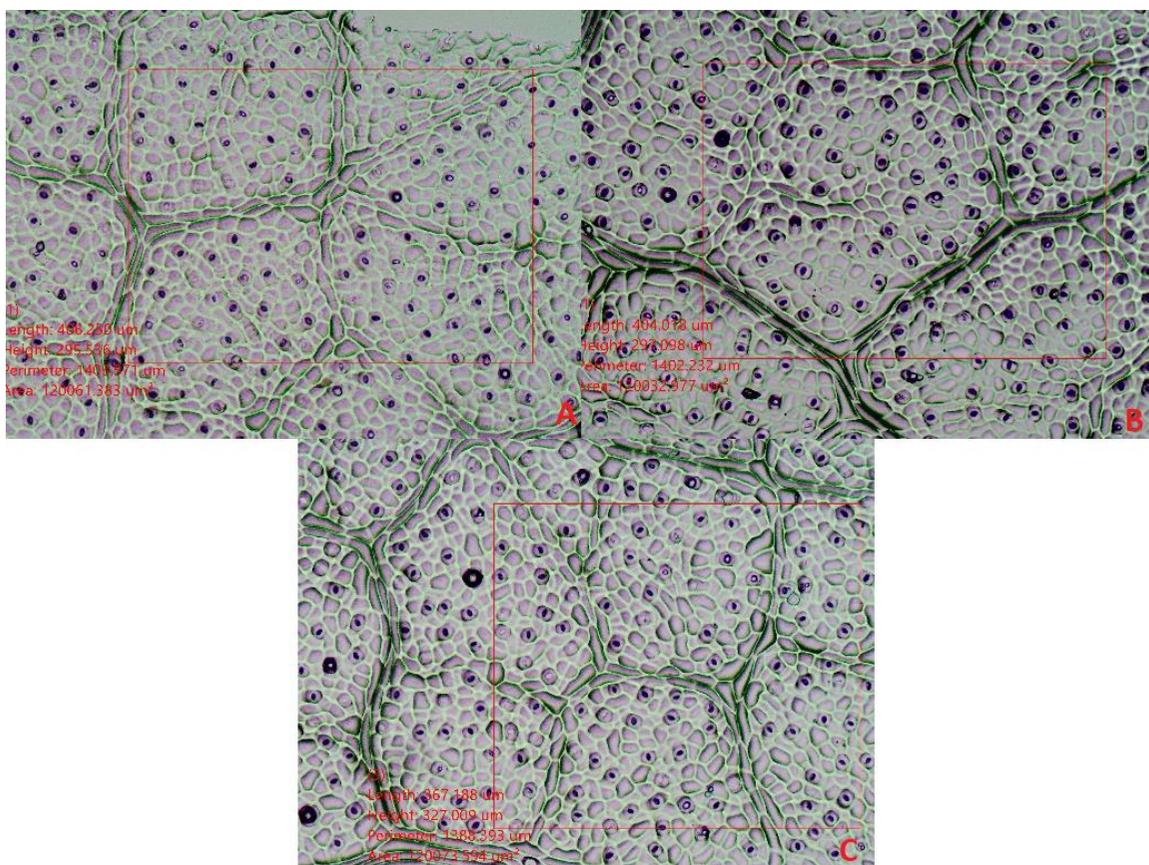


Figura 22. Estomas de la epidermis adaxial de la hoja de cacao clon EETP 801. **A:** Impronta de hoja sin sombra. **B:** impronta de hoja con tratamiento de sombra al 35 %. **C:** Impronta de hoja con tratamiento de sombra al 80 %.

Anexo 6. Certificación de traducción del abstract

ABSTRACT

Cocoa (*Theobroma cacao* L) is one of the most important perennial crops, its demand is growing slowly, in Ecuador, low yield is the main problem affecting the cocoa sector. Shade management in the early stages of cocoa has been a topic of discussion, even more so, in the southeastern part of the country, there is much ignorance about how shade could affect growth and subsequent production. That is why the incidence of shade on morpho-physiological parameters during the vegetative growth of cocoa (*Theobroma cacao* L) clone EETP - 801 was evaluated. The trial was carried out at the "El Padmi" experimental station, located in the province of Zamora Chinchipe. It was established in a Completely Random Design, with 6 repetitions, the treatments were without shade and shade with levels of 35% and 80%. The variables evaluated were plant height, crown diameter, trunk cross-sectional area, shoot length, leaf area, leaf area index, stomatal density, stomatal size, stomatal index, anatomical structure of the leaves, content of chlorophyll. In addition, the pH and electrical conductivity of the soil were measured. The effect of the treatments on the dependent variables was evaluated using ANOVA and means test (Tukey) ($p=0.05$). The results show that in morphological variables no significant differences were found, unlike some physiological variables, where the shade did have an incidence, favoring the increase in stomata size, while, in treatments without shade, greater density and stomatal index were obtained. . Regarding soil pH, there were no significant variations, but not in electrical conductivity, the 80% shade treatment obtained a lower value. In general, the results of this work do not show a significant effect on the characteristics of vegetative growth, which means that clone EETP 801 may not need shade in the vegetative stage of the crop in the area.

Keywords: Shade, vegetative growth, cocoa.

Yo, Alexandra Zúñiga Ojeda, por la presente certifico que traduje el documento adjunto del idioma inglés al español y que, es una traducción correcta de acuerdo a los documentos originales. Así lo certifico, en base a la formación de grado y posgrado en la Enseñanza del Inglés como lengua extranjera.



Mgs. Alexandra Zúñiga Ojeda
Directora Académica de CADIL English Center
Registros SENESCYT: 1031-07-785803 1031-11-725056