UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES.

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA.

Respuesta de tres niveles de sombra sobre los parámetros morfo-fisiológicas en el crecimiento inicial del cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP801 en Zamora Chinchipe

Tesis previa a la obtención del título de
INGENIERO AGRÓNOMO

AUTOR:

Andrés Mauricio Salinas Serrano

DIRECTOR:

Ing. Johnny Fernando Granja Trávez Mg. Sc.

LOJA – ECUADOR
2022

CERTIFICACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS

Ing. Johnny Fernando Granja Travez *Mg. Sc*
DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICO:
Que luego de haber dirigido y revisado el trabajo de tesis titulado: **"Respuesta de tres niveles de sombra sobre los parámetros morfo-fisiológicas en el crecimiento inicial del cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP801 en Zamora Chinchipe"**, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, del egresado: Andrés Mauricio Salinas Serrano, 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.

Loja, 11 de agosto de 2021

Firmado electrónicamente por:
JOHNNY FERNANDO GRANJA TRAVEZ

_____
Ing. Johnny Fernando Granja Travez Mg. Sc.
DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Una vez cumplida la reunión del tribunal de calificación del trabajo final de tesis titulado: **“Respuesta de tres niveles de sombra sobre los parámetros morfo-fisiológicas en el crecimiento inicial del cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP801 en Zamora Chinchipe”** de autoría del Sr. Andrés Mauricio Salinas Serrano, egresado de la carrera de Ingeniería Agronómica.

En tal virtud, nos permitimos certificar que, en el trabajo final consolidado de investigación, se ha incorporado las sugerencias efectuadas por los miembros del tribunal y está acorde con los requerimientos de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Facultas Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, por lo tanto, se procede a la aprobación y calificación del trabajo de tesis, y se autoriza a continuar con los trámites pertinentes.

Loja, 19 de enero de 2022

Firmado electrónicamente por:
KLEVER ANIBAL CHAMBA CAILLAGUA

Ing. Klever Aníbal Chamba Caillagua
PRESIDENTE

Firmado electrónicamente por:
PAULINA VANESA FERNANDEZ GUARNIZO

Mg.Sc . Paulina Vanesa Fernández Guarnizo
VOCAL

Firmado electrónicamente por:
SANTIAGO CRISTOBAL VASQUEZ MATUTE

PhD. Santiago Cristóbal Vázquez Matute
VOCAL

AUTORÍA

Yo, Andrés Mauricio Salinas Serrano, declaro ser el autor del presente TRABAJO DE TESIS y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes Jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Declaro, que durante la investigación y elaboración de la tesis el uso de referencias publicadas por otros autores cumplió con las normas y regulaciones establecidas.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Autor: Andrés Mauricio Salinas Serrano

Firma: Firmado electrónicamente por: ANDRES MAURICIO SALINAS SERRANO

Cédula: 1150233607

Fecha: 25 de enero de 2022

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, Andrés Mauricio Salinas Serrano, declaro ser el autor de la tesis titulada **"Respuesta de tres niveles de sombra sobre los parámetros morfo-fisiológicas en el crecimiento inicial del cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP801 en Zamora Chinchipe"** como requisito para optar al grado de Ingeniero Agrónomo, por lo que autorizo al sistema bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre a mundo la publicación intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Digital Institucional. Los usuarios pueden hacer uso de este trabajo investigativo en las redes de información del país (RID) y del exterior, con las que mantenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja no se responsabiliza por el plagio de dicha tesis que realice una tercera persona.

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

Datos del Autor

Firma:

Autor: Andrés Mauricio Salinas Serrano
Cédula: 1150233607
Dirección: Cantón Saraguro, Parroquia Manú (Calle Sucre y Loja).
Correo electrónico:
andres.salinas@unl.edu.ec

Celular: 0969730666

Datos Complementarios

Director de Tesis:

Ing. Johnny Fernando Granja Tráves Mg.Sc

Tribunal de Grado:

Ing. Klever Chamba **PRESIDENTE**

Mg.Sc Paulina Fernández **VOCAL**

PhD. Santiago Vázquez **VOCAL**

DEDICATORIA

A mis padres Rosa y Mauro, por su esfuerzo, formación ética y moral, apoyo incondicional, por forjarme a ser una persona de bien.

A mis hermanos Lady, Darío, Carolina y Luis, y a mi cuñada Efi Gonzaga a quienes quiero y aprecio mucho y son mi inspiración para lograr mis ideales y llegar a culminar mi carrera profesional

A mi hijo Gadiel Andrés, que ha sido mi motivación para lograr tan anhelado propósito.

A Dios y la Virgen del Cisne por darme la fortaleza tan abnegada en los tiempos difíciles.

Andrés Salinas

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la Virgen del Cisne, por haberme dado la fortaleza y sabiduría necesaria para culminar con éxito y satisfacción esta etapa de mi vida universitaria.

A mis padres Rosa María Serrano Gualán y Víctor Mauro Salinas Serrano, y hermanos Lady y Darío, por ser quienes me impulsaron a cumplir esta gran meta, con sus consejos, apoyo incondicional, amor y motivación. De igual manera a mi amigo James Y Temístocles por alentarme a seguir y cumplir mis propósitos.

A la Universidad Nacional de Loja, y con gratitud a la carrera de Ingeniería Agronómica por permitirme formarme profesionalmente, y de manera especial a mi director de tesis al Ing. Johnny Fernando Granja Través Mg. Sc, por sus consejos, críticas constructivas y por asesorarme en cada inquietud presentada durante la investigación. A cada uno de los docentes que compartieron sus conocimientos, forjándome a ser una excelente profesional.

Así mismo agradezco al Ing. Diego Loaiza Director encargado de la estación experimental "El Padmi", al grupo de docentes y compañeros tesistas investigadores del macro-proyecto: "Efecto de la Radiación fotosintéticamente activa sobre cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Región Sur del Ecuador y sus implicaciones agronómicas", por permitirme ser parte de este grupo de investigadores y compartir experiencias y conocimientos.

ÍNDICE GENERAL

PORTADA ……... I
CERTIFICACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS II
CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO III
AUTORÍA IV
CARTA DE AUTORIZACIÓN V
DEDICATORIA VI
AGRADECIMIENTO VII
ÍNDICE GENERAL VIII
ÍNDICE DE TABLAS X
ÍNDICE DE FIGURAS XI
ANEXOS V
1. TÍTULO ...……..…..1
2. RESUMEN 2
3. ABSTRACT 3
4. INTRODUCCIÓN 4
1.1. Objetivo General 6
1.2. Objetivo Específico 6
5. REVISIÓN DE LITERATURA 7
5.1. Generalidades e Importancia del Cultivo de Cacao (*Theobroma cacao* L.) 7
5.2. Clasificación Taxonómica 8
5.3. Fenología del Cacao 8
5.3.1. Estado de desarrollo principal 0: germinación – propagación vegetal 8
5.4. Cultivo de Cacao en el Ecuador 10
5.5. Zonas Productoras de Cacao en el Ecuador 10
5.6. Genotipos de Cacao 10
5.6.1. Forastero 11
5.6.2. Trinitario 11
5.6.3. Criollo 11
5.7. Clones Ecuatorianos 11
5.7.1. Clon Estación Experimental Tropical Pichelingue (EETP 801). 11
5.7.1.1. Zonas recomendadas para la siembra del clon EETP 801 12
5.8. Factores de Edafoclimáticos 12
5.8.1. Luminosidad 13

5.9. Sombreo en el Cultivo de Cacao 14
6. MATERIALES Y MÉTODOS 16
6.1. Ubicación del Área de Estudio 16
6.2. Manejo del Experimento 17
6.2.1. Material vegetal 17
6.2.2. Análisis de Suelo 17
6.3. Diseño Experimental 18
6.3.1. Aplicación de tratamientos 18
6.3.1.1. Aplicación de sombra 18
6.3.2. Delineamiento experimental. 19
6.4. Variables 20
6.5. Análisis Estadístico 24
7. RESULTADOS 25
7.1. Variables Morfológicas 25
7.1.1. Altura de la planta 25
7.1.2. Tasa de crecimiento relativa de la planta 26
7.1.3. Tasa de crecimiento absoluta de la planta 27
7.1.4. Longitud del brote 28
7.1.5. Tasa de crecimiento relativo de la longitud del brote 29
7.1.6. Tasa de crecimiento absoluta de la longitud del brote. 30
7.1.8. Longitud y número de metámeros 32
7.1.9. Área foliar de la planta, área foliar del brote e IAF de la planta. 33
7.2. Variables Fisiológicas 34
7.2.1. Contenido de clorofila. 34
7.2.2. Densidad estomática 36
7.2.3. Análisis pH del suelo 37
4.2.4. Conductividad eléctrica del suelo. 38
7.3. Análisis de Tejidos Foliares 38
7.3.1. Contenidos nutricionales 38
7.4. Correlación Entre Variables 39
8. DISCUSIÓN 40
9. CONCLUSIONES 46
10. RECOMENDACIONES 47
11. BIBLIOGRAFÍA 48
12. ANEXOS 55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica del cacao 8
Tabla 2. Etapas de crecimiento vegetativo del cacao 8
Tabla 3. Descripción del factor, tratamiento y niveles empleados en el ensayo experimental, en cacao clon ETPP 801. 18
Tabla 4. Tasa de crecimiento relativa del brote después de cada aplicación de los tratamientos (DDT). .. 26
Tabla 5. Longitud y número de metámeros a los 168 días después de la aplicación de los tratamientos ... 32
Tabla 6. Valores promedios del área foliar de la planta, área foliar del brote e IAF (índice del área foliar) de la planta y del brote, evaluados a los 168 días después de aplicado los tratamientos. 33
Tabla 7**.** Contenido de clorofila A, B y total a los 164 días después de aplicado los tratamientos 34
Tabla 8. Medias de la densidad estomática evaluadas a los 168 días después de la aplicación de tratamientos en hojas de cacao clon EETP8001. 37
Tabla 9. Valores promedios de la conductividad eléctrica del suelo, evaluados desde los 19 hasta los 168 días después de la aplicación de los tratamientos, en las plantas de cacao clon EETP801. 38
Table 10. Concentración de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en las hojas de las plantas cacao clon EETP801 evaluadas al finalizar el ensayo. 38
Tabl4 11. Correlaciones entre variables morfológicas y fisiológicas evaluadas en cacao clon EETP801 . 39
Tabla 12. Resultados del ANOVA de la variable crecimiento relativo de la planta …….,,,….....58
Tabla 13. Resultados del ANOVA de la variable tasa de crecimiento absoluto de la altura de la planta……58
Tabla 14. Resultados del ANOVA de la variable crecimiento relativo del brote…….……..…58
Tabla 15. Resultados del ANOVA de la variable tasa de crecimiento relativo del brote……..….59
Tabla 16. Resultados del ANOVA de la variable tasa de crecimiento absoluta de la longitud del brote……59
Tabla 17. Resultados del ANOVA de la variable Crecimiento Relativo del Área de la Sección Transversal del Tallo…….....59
Tabla 18. Resultados del ANOVA de la variable longitud de metámeros……...…...……...60
Tabla 19. Resultados del ANOVA de la variable número de metámeros……...…….……...60
Tabla 20. Resultados del ANOVA de la variable área foliar de la planta……...…….…...…60
Tabla 21. Resultados del ANOVA de la variable índice de área foliar de la planta……..…….....61
Tabla 22. Resultados del ANOVA de la variable área foliar del brote……..……..….....61
Tabla 23. Resultados del ANOVA de la variable índice de área foliar del brote……..…..…….....61
Tabla 24. Resultados del ANOVA de la variable clorofila a……...…..….….....62
Tabla 25. Resultados del ANOVA de la variable clorofila b……...…..….….…...62
Tabla 26. Resultados del ANOVA de la variable clorofila total……...……62
Tabla 27. Resultados del ANOVA de la variable nitrógeno……..…….....63
Tabla 28. Resultados del ANOVA de la variable fósforo……..……...…63
Tabla 29. Resultados del ANOVA de la variable potasio……..…63
Tabla 30. Resultados del ANOVA de la variable calcio…….....…...64
Tabla 31. Resultados del ANOVA de la variable magnesio……...……64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sitios arqueológicos en México, América central y Sur América donde se ha encontrado la evidencia más temprana del uso de *Theobroma cacao* L. 7
Figura 2. Ubicación de lugar de estudio (estación experimental "El Padmi") 16
Figura 3. Diseño de la estructura con la malla sarán para efectuar la sombra en el cacao clon EETP 801. 19
Figura 4. Esquema del diseño experimental y tratamientos implementados en campo 19
Figura 5. Altura de la planta en unidades experimentales de cacao 25
Figura 6. Incremento de altura de la planta en las unidades experimentales de cacao, después de la aplicación de tratamientos (DDT) 26
Figura 7. Tasa de crecimiento absoluto de las plantas de cacao clon EETP 801, tomadas al inicio y al final del ensayo 27
Figura 8. Crecimiento de brotes desde los 19 a 168 días después de la aplicación de tratamientos (DDT) 28
Figura 9. Incremento de la longitud del brote en las unidades experimentales de cacao desde los 19 hasta 168 días después de la aplicación de tratamientos (DDT) 29
Figura 10. Tasa de crecimiento relativo en las unidades experimentales de cacao desde los 19 hasta 168 días después de la aplicación de tratamientos (DDT) 30
Figura 11. Tasa de crecimiento absoluto de la longitud del brote de cacao clon EETP 801, tomadas al inicio y al final del ensayo 31
Figura 12. Expresión del crecimiento relativo del área de la sección transversal del tronco en plantas de cacao clon EETP801, tomadas al inicio y final del ensayo 32
Figura 13. Gráfico de puntos del área foliar vs largo de la hoja, determinado a partir de hojas de cacao clon EETP 801. 33
Figura 14. Contenido de clorofila A, evaluado a los 168 días después de la aplicación de los tratamientos en plantas de cacao clon EETP801 34
Figura 15. Contenido de clorofila A, evaluado a los 168 días después de la aplicación de los tratamientos en plantas de cacao clon EETP801 35
Figura 16. Contenido de clorofila total, evaluado a los 168 días después de la aplicación de los tratamientos en plantas de cacao clon EETP801 36
Figura 17. Estomas en hojas de cacao clon EETP801, observados al microscopio con un aumento de 40X 36
Figura 18. Dinámica del Ph durante el transcurso de evaluación del ensayo, en las plantas de caco clon EETP801 37
Figura 19. Cacao clon EETP 801 58
Figura 20. Ahoyado para asegurar la estructura 57
Figura 21. Fijación de los laterales de soporte 58
Figura 22. Estructura de sombreo 57

ANEXOS

Anexo 1. Cálculo de dosis de corrección del suelo..... 55
Anexo 2. Evidencias fotográficas 57
Anexo 3. Análisis de suelo..... 58
Anexo 4. Correlación de variables fisiológicas y morfológicas del cacao clon EETP 801 60
Anexo 5. Análisis de varianza realizados 61

Respuesta de tres niveles de sombra sobre los parámetros morfo-fisiológicas en el crecimiento inicial del cacao (*Theobroma cacao* L.), clon EETP801 en Zamora Chinchipe.

2. RESUMEN

El cacao (*Theobroma cacao* L) fino de aroma ha experimentado una creciente demanda en los últimos años, sin embargo, en Ecuador se registran bajos rendimientos, dados por el desconocimiento de prácticas agronómicas eficientes, una de ellas es la influencia de la sombra en el cultivo, ya que puede variar su uso según las condiciones climáticas del lugar donde se cultiva. Es por ello que se evaluó la incidencia de sombra en parámetros morfo- fisiológicos durante el crecimiento inicial del cacao (*Theobroma cacao* L) clon EETP801. El ensayo se llevó acabo en la estación experimental "El Padmi", situada en la provincia de Zamora Chinchipe. Se estableció en un Diseño Completamente al Azar, bajo tres niveles de sombra, al 0%, 35% y 80%, con seis repeticiones. Las variables evaluadas fueron altura de la planta, área de la sección transversal del tronco, longitud del brote, longitud y número de metámeros, área foliar del brote, índice de área foliar, densidad estomática, contenido de clorofila y contenido nutricional de las hojas. 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 la mayoría de las variables no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo, el tratamiento a plena luz permite obtener plantas más altas y el tratamiento al 80 % sombra favoreció al incremento de clorofila, A, B, total, y variaciones en el pH de suelo a los días 144 y 164 presentándose las menores medias de 5,24 y 4,96 con respecto al tratamiento a plena luz y 35 % sombra. En general los resultados de este trabajo, muestran que el uso de sombra no evidencia un efecto significativo sobre las características morfológicas y de crecimiento en la etapa temprana del clon EETP 801, lo que indicaría que en esta zona y bajo estas condiciones climáticas no haría falta implementar sombra en etapas tempranas del cultivo.

Palabras clave: radiación solar incidente, crecimiento temprano

3. ABSTRACT

The Cocoa (*Theobroma cacao* L) fine aroma has experienced a growing demand , however, low yields are recorded in Ecuador, due to the lack of knowledge of efficient agronomic practices, one of which is the influence of shade on the crop, since its use can vary according to the climatic conditions of the place where it is grown. For this reason, the incidence of shade on mor-physiological parameters in the initial growth of cocoa (*Theobroma cacao* L) clone EETP801 was evaluated. The trial was carried out at the experimental station "El Padmi", located in the province of Zamora Chinchipe. It was established under a completely randomized design, under three levels of shade, at 0%, 35% and 80%, with six replications. The variables evaluated were plant height, trunk cross-sectional area, shoot length, length and number of metameres, shoot leaf area, leaf area index, stomatal density, chlorophyll content and leaf nutritional content. In addition, soil pH and electrical conductivity were measured. The effect of the treatments on the dependent variables was evaluated by ANOVA and means test (Tukey) (p=0.05). The results show that for most of the variables there were no significant differences between treatments. However, the full light treatment allowed taller plants to be obtained and the 80% shade treatment favored the increase in chlorophyll, A, B, total, and variations in soil pH at days 144 and 164, presenting the lowest means of 5.24 and 4.96 with respect to the full light and 35% shade treatments. In general, the results of this work show that the use of shade does not show a significant effect on the morphological and growth characteristics in the early stage of clone EETP 801, which would indicate that in this area and under these climatic conditions it would not be necessary to implement shade in early stages of cultivation.

Key words: , incident solar radiation, early growth.

4. INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L) es uno de los cultivos perennes más importantes del mundo, actualmente su producción a nivel mundial es de 5 596 397 toneladas con rendimientos promedio de 475 kg ha^{-1} (FAOSTAT, 2020). El continente africano lidera la producción mundial total con el 73.3%, seguido por el continente americano con una participación del 16, 7 % y Asia y Oceanía con el 10 % (Anecacao, 2019). En Ecuador la superficie de siembra del cacao es de 590,579 hectáreas, con una producción total de 327. 903 Tm. La mayor producción se concentra en la provincia de los ríos con el 28,36 % (INEC, 2020). Es el cuarto productor de cacao en volumen, antecedido por Costa de Marfil (primer lugar), Ghana (segundo lugar) e Indonesia (tercer lugar) y ocupa el primer lugar en calidad y aroma dado por las condición geográfica ecuatoriana y fenómenos climáticos que le acontecen (FAO, 2020). Además, el sector cacaotero en Ecuador 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).

Sin embargo, y pese a la gran relevancia que tiene el cultivo, múltiples son 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 24.000 Kg ha^{-1} (Espinosa, et al. 2006). Ante esta problemática y a la gran demanda del cacao ecuatoriano se generó tras dos décadas de investigación el clon INIAP- EETP-801, un cacao fino de aroma con alta precocidad. Este clon expresa un alto grado de adaptación en la parte media y alta de la cuenca del río Babahoyo, nor-occidente de Pichincha y norte de Guayas, hasta una altura máxima de 600 msnm, zonas donde el potencial genético de los mencionados clones expresa su mejor comportamiento comercial (INIAP, 2018). En la zona amazónica del sur del Ecuador donde se realizó el estudio no existen estudios sobre el comportamiento de este genotipo resaltando la importancia de evaluar su respuesta a este ambiente.

En la provincia de Zamora Chinchipe el cacao se cultiva en mayor porcentaje en el cantón El Pangui con 98,78 % (63 173,67 ha). La siembra la realizan bajo dos sistemas: bajo sistema asociado principalmente con plátano (Temporal), bajo un sistema con sombra de árboles, principalmente guabos, porotillos y laurel (GADPZCH, 2019). El clon INIAP ETTP-801 es

relativamente nuevo, por lo que no se cultiva aún en la zona (GADPZCH, 2021), razón por la cual no se encuentran estudios sobre la adaptabilidad del clon a la zona.

Actualmente la demanda de cacao fino de aroma se ha incrementado, por lo que es necesario aumentar los rendimientos para poder competir con países vecinos que tienen similares condiciones climáticas que les permiten obtener calidad igual o superior. Uno de los principales factores que limitan la producción está desconocimiento del efecto de la sombra sobre el crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad de los frutos. En este aspecto un estudio realizado por Mendoza, (2009) donde señala que el cultivo de cacao, se ha notado que existe una relación beneficiosa entre los arboles de sombra y la biomasa de cacao, consiguiendo con ello mejorar el ciclo de nutrientes en el suelo y una mayor tasa fotosintética, debido a que se generaron hojas más grandes, pero también se determinó que variedades de cacao responden de manera diferente a la radiación fotosintéticamente activa (PAR), por ejemplo, en ensayos realizados por el INIAP sobre clones de cacao nacional se han encontrado respuestas óptimas de fotosíntesis y rendimiento a altos valores de radiación, nunca antes reportados para este cultivo (Jaimez et al., 2018).

Además, el cacao se ha considerado tradicionalmente un cultivo que requiere sombra y, en consecuencia, se implementa bajo sistemas agroforestales (AF) para regular el nivel de radiación solar incidente. Sin embargo, los niveles óptimos de sombra para este cultivo arbóreo pueden variar según las condiciones climáticas del lugar donde se cultiva (Suarez et al., 2018)

En la provincia de Zamora Chinchipe es posible que, debido a sus características meteorológicas, las condiciones de radiación sean apropiadas sin necesidad de usar sombra, sin embargo, no existen estudios que indiquen cuanta radiación fotosintéticamente activa está presente en estas localidades productoras, sin estos conocimientos es difícil realizar recomendaciones. La mayoría de estudios abordan la sombra a través de sistemas agroforestales, lo cual ha mostrado resultados poco claros debido a la interacción de distintos factores, como el tipo de sistema agroforestal, la edad de las plantas, el tipo de suelo, entre otros factores, lo que dificulta la comprensión del efecto de la sombra (van Vliet y Guiller, 2015). El presente estudio busca generar información acerca de la influencia de la sombra sobre el crecimiento inicial del cacao, lo que podría proporcionar información para uso agronómico, dirigida a potenciar la productividad de este cultivo. Consigo traerá múltiples beneficios sociales y económicos para los agricultores de la provincia de Zamora Chinchipe y zonas con condiciones climáticas similares.

1.1. Objetivo General

Evaluar la incidencia de la sombra en los parámetros morfo- fisiológicos en el crecimiento inicial del cacao (*Theobroma cacao* L) clon EETP801 en Zamora Chinchipe.

1.2. Objetivo Específico

Determinar el efecto de tres niveles de sombra sobre los parámetros morfológicos en el crecimiento inicial del cacao clon EETP801.

Identificar el efecto de tres niveles de sombra sobre las variables fisiológicas en crecimiento inicial del cacao clon EETP801.

5. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. Generalidades e Importancia del Cultivo de Cacao (*Theobroma cacao* L.)

El cacao (*Theobroma cacao* L), pertenece a la familia de las Malváceas, subfamilia Sterculioideae. Tiene su origen en los trópicos húmedos de América del Sur, en la zona alta amazónica del Ecuador, demostrado por los hallazgos de restos arqueológicos en Santa Ana-La Florida (SALF) en el sureste de Ecuador. La figura 1 muestra los cuatro sitios arqueológicos donde se ha encontrado la evidencia más temprana del uso de *Theobroma cacao* L. (Zarillo et al., 2018).

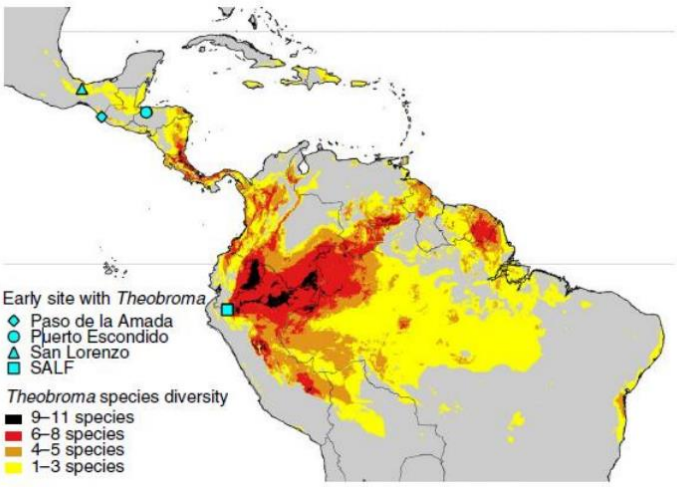

Figura 1. *Sitios arqueológicos en México, América central y Sur América donde se ha encontrado la evidencia más temprana del uso de Theobroma cacao.*

Es un árbol o arbusto semi-caducifolio, con tallo glabro o parcialmente pubescente, hojas simples y enteras obovada-elípticas. Las flores son pentámeras, hermafroditas y actinomorfas. Presenta 10 estambres lineares; 5 estambres fértiles se alternan con cinco estaminodios y el fruto es una baya grande polimorfa (Dostert et al., 2011). La especie presenta 10 pares de cromosomas, es altamente alógama, con una polinización cruzada que sobrepasa el 95% (INIAP, 2010).

Su propagación puede darse de dos maneras sexual y asexual. Las plantas producidas de forma asexual tenemos que el material vegetal generado por este método no desarrolla raíz pivotante, sin embargo, posee varias raíces secundarias, cuyo crecimiento es horizontal. Además, en estos árboles predomina el crecimiento de ramas laterales o plagiotrópicas (Adriazola, 2003).

5.2. Clasificación Taxonómica

La primera clasificación taxonómica del cacao fue desarrollada por Linneo en 1737. Sin embargo, la clasificación definitiva (Tabla 1) fue instaurada por Benthan y Hooker en 1862.

Tabla 1. Clasificación taxonómica del cacao

Taxonomía del Cacao	
Reino	Plantae
Sub-reino	Tracheobionta
Súper división	Spermatophyta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Sub-clase	Dilleniidae
Orden	Malvales
Familia	Sterculiaceae
Género	*Theobroma*
Especie	*T. cacao* L.

5.3. Fenología del Cacao

La fenologia del cacao es una herramienta fundamental para estudios agronómicos y biologicos, se la usa para preparar la base para el manejo de la producción, las comparaciones de estudios epidemiológicos de enfermedades, de patrones de crecimiento bajo diferentes factores ambientales y de parámetros específicos genéticamente clonados (Niemenak et al.,2009). A continuación se detalla los estdios principales y secundarios por los cuales atraviesa la planta de cacao:

5.3.1. **Estado de desarrollo principal 0: germinación – propagación vegetal.**

Tabla 2. Etapas de crecimiento vegetativo del cacao (Niemenak et al., 2009).

Código		**Descripción**
2° dígito	**3° dígito**	
00	000	Semillas frescas / esquejes ortotrópicos con cuatro o cinco hojas medio cortadas
01	001	Imbibición de semillas/cortes plantados en medios de enraizamiento; no hay callo visible

02		La 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	009	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 hipocotilo forma un gancho; el cotiledón emerge del suelo/ brotes terminales o laterales de los cortes ortotrópicos se rompen
09		Elongación del hipocotilo completada; los cotiledones están en posición vertical, pero aún desplegados/Crecimiento de los brotes terminales o laterales en un brote principal vertical

Estadio principal 1: desarrollo de las hojas en el brote principal de la planta joven y en las ramas de abanico.

Código		**Descripción**
2° dígito	**3° dígito**	
10	100	El cotiledón se desplegó completamente 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	La hoja se despliega en la primera descarga. Las hojas son de color verde pálido o rojo.
	111	La expansión de la hoja es del 10% del tamaño final.
	112	La expansión de la hoja es del 20% del tamaño final.
	115	La expansión de la hoja es del 50% del tamaño final
	119	El primer flush de crecimiento está completo. Las hojas son de color verde oscuro con una superficie máxima.
12	120	La hoja se flush en la segunda descarga. Las hojas son de color verde pálido a rojo
	121	La expansión de la hoja es del 10% del tamaño final
	122	La expansión de la hoja es del 20% del tamaño final
	125	La expansión de la hoja es del 50 % del tamaño final
	129	El segundo flush de crecimiento está completo.
19	190	Nueve o más flhushes completamente maduros.

Etapa de crecimiento principal 2: elongación del tallo principal, formación de horquetas en la rama de abanico y chupón.

Código		**Descripción**
2° dígito	**3° dígito**	
20	200	El brote derivado de la planta de semillero muestra un 10% de crecimiento
	202	Dispara con un 20 % de crecimiento
	203	Dispara con un 30 % de crecimiento
	205	Dispara con un 50 % de crecimiento
	209	El brote alcanza su madurez fisiológica y el crecimiento de su meristema apical se detiene.
21	210	La formación de la primera horqueta y posteriormente el primer chupón.

	211	El primer chupón aparece bajo la primera horqueta con un 10% de crecimiento.
	212	Primer chupón con 20 % de crecimiento.
	215	Primer chupón con 50 % de crecimiento.
	219	El primer chupón alcanza su madurez fisiológica y el crecimiento del meristemo apical se detiene.
22	220	La formación de la segunda horqueta y posteriormente el segundo chupón
	221	El segundo chupón aparece bajo la primera horqueta con un 10% de crecimiento
	222	Segundo chupón con 20 % de crecimiento
	223	Segundo chupón con 50 % de crecimiento
	229	El segundo chupón alcanza su madurez fisiológica y el crecimiento de su meristemo apical se detiene.
23	230	La formación de la tercera horqueta y posteriormente el tercer chupón
	231	El tercer chupón aparece bajo la tercera horqueta con un 10% de crecimiento.
	232	Tercer chupón con 20 % de crecimiento.
	233	Tercer chupón con 50 % de crecimiento.
	239	El tercer chupón alcanza su madurez fisiológica y el crecimiento de su meristemo apical se detiene

5.4. Cultivo de Cacao en el Ecuador

En Ecuador prevalecen las explotaciones de menos de 50 Ha (47%). Se evalúa que 90% de la producción de cacao fino Nacional se realiza en sistemas tradicionales y semitecnificados, mientras que la mayoría de la variedad CCN-51 se efectúa en sistemas tecnificados La variedad CCN-51 registra una mayor productividad, así como un inicio más temprano de producción y mayor resistencia a ciertas enfermedades (ESPAE -ESPOL, 2016).

5.5. Zonas Productoras de Cacao en el Ecuador

El cacao está distribuido en las Provincias de Guayas, Los Ríos, Esmeraldas, Santo Domingo, Santa Elena, Bolívar, Cañar, Manabí, El Oro, Chimborazo, Azuay, Zamora Chinchipe, Morona Santiago, Sucumbíos, Pichincha, Loja, Imbabura, Orellana, Napo y Pastaza (INIAP, 2017).

5.6. Genotipos de Cacao

Se consideran tres tipologías de cultivares, a partir de los cuales se desglosan las variedades, híbridos y clones que hoy se siembran a nivel mundial: los denominados criollos, forasteros y trinitarios (Arvelo et al., 2017).

5.6.1. Forastero

Conformado por un extenso grupo de poblaciones cultivadas, semi-silvestres y silvestres, de las cuales la Amelonado es la más ampliamente sembrada (incluyendo las variedades Comum en Brasil, Amelonado de Africa Occidental, Cacao Nacional de Ecuador y Matina o Ceyland en Costa Rica y México) (ESPAE & ESPOL, 2016). Sobre este tipo de cacao descansa la gran biodiversidad de la especie con base en la población silvestre; sin embargo, se ha determinado que la base genética de la población cultivada es reducida, pues depende en alto porcentaje del sub-tipo forastero amelonado (Arvelo et al., 2017).

5.6.2. Trinitario

Trinitario, descendiente de un cruce entre Criollo y Forastero surgido en Trinidad, que se esparció a Venezuela y de allí a Ecuador, Camerún, Samoa, Sri Lanka, Java y Papúa Nueva Guinea (ESPAE & ESPOL, 2016). Las plantas son robustas con frutos verdes o pigmentados y con semillas que van del violeta oscuro al rosa pálido. Representa alrededor del 15 % de la producción mundial. (Arvelo et al., 2017).

5.6.3. Criollo

Criollo, que dominó el mercado hasta mediados del siglo XVIII, pero del que actualmente quedan pocos (ESPAE & ESPOL, 2016). Los cacaos “criollos” tienen su origen en el norte de Sudamérica y Centro América. Se caracterizan por poseer un sabor suave y aromático, se encuentran principalmente en Venezuela, América Central, Papua Nueva Guinea, Las Antillas del Caribe, Sri Lanka, Timor Oriental y Java. Se caracterizan por poseer frutos alargados de punta pronunciada, doblada y aguda (Johnson et al., 2008).

5.7. Clones Ecuatorianos

El INIAP del Ecuador viene incursionando en el desarrollo de nuevas variedades, híbridos y clones resultado de ello se liberaron los clones EETP 800 y EETP 801, que se los considera como cacao fino de aroma de alto rendimiento (FAO, 2016).

5.7.1. Clon Estación Experimental Tropical Pichelingue (EETP 801).

Se lo obtuvo mediante el cruce de clones de origen nacional y el clon CCN 51; es un material que se destaca por presentar características de altos niveles de rendimiento productivo (2,4 a 3 t/ha/año

de cacao seco) y de calidad (ANECACAO, 2017). El clon INIAP-EETP-801 dispone de un perfil sensorial que le ubica dentro de los llamados cacaos finos y de aroma. La expresión del aroma y sabor característico, está supeditado al tipo de tratamiento post cosecha que se les otorgue y a las instalaciones con las que se cuente para este fin (INIAP,2016).

El clon INIAP-EETP- 801 es el resultado de un arduo trabajo por más de dos décadas de investigación y desarrollo en el área de mejoramiento genético en los centros de la Estación Experimental Tropical Pichilingue. Este clon tiene un alto grado de precocidad y el alto rendimiento lo cual garantiza una oferta exportable de cacao fino, contribuyendo a la valorización de la cadena productiva y aumentando las divisas que ingresan al país (INIAP, 2018).

5.7.1.1. Zonas recomendadas para la siembra del clon EETP 801

Pruebas experimentales en diferentes zonas productoras de cacao demostraron que el clon INIAP-EET-801 presenta un alto grado de adaptación en la parte media y alta de la cuenca del río Babahoyo, nor-occidente de Pichincha y norte de Guayas, hasta una altura máxima de 600 msnm, zonas donde el potencial genético del clon expresa su mejor comportamiento comercial (INIAP, 2018). En la zona de Zamora aún no se han probado estos clones, por lo que no se sabe cuál es su comportamiento.

5.8. Factores de Edafoclimáticos

El cacao se cultiva por debajo de los 1300 m.s.n.m. (Sánchez et al., 2017). Por otro lado, López, 2011, señala que el cacao se cultiva casi desde el nivel del mar y hasta los 1,200 msnm, siendo el óptimo de 300 a 400 msnm y de 600 a 800 m.s.n.m. Sin embargo, en plantaciones cerca de la línea del ecuador se desarrolla de manera normal en altitudes mayores: desde los 1000 hasta los 1400 msnm (Sánchez et al., 2017). La temperatura media óptima es de 25° C, con tolerancia a variaciones entre 23° y 32° C (MAR, 2018)**,** Zonas con temperaturas medias mensuales superiores a 31 °C e inferiores a 20 °C no se consideran aptas para la producción comercial del cacao (Sánchez et al., 2017). Cuando la temperatura es menor a 21° C, se produce una escaza formación de flores, lo ideal es tener temperaturas de 25° C, donde las flores se forman de manera normal y abundante (Quiroz, 2010).

El cacao necesita temperatura húmeda, con una humedad relativa de aproximadamente 70 a 80% como en un bosque tropical o las que ofrecen una sombra artificial (Medina et al., 2009). Aunque existen genotipos que toleran la humedad relativa baja debido a un mecanismo eficiente de regulación estomática que limitan fuertemente la transpiración en condiciones de déficit hídrico (De Almeida & Valle, 2010).

La producción cacaotera se encuentra en zonas con precipitaciones anuales entre 1250 y 3000 mm El rango para su mejor desempeño comercial es el comprendido entre 1500 y 2000 mm (MAGAP, 2012). Las precipitaciones que excedan los 2600 mm pueden afectar la salud de los árboles y la calidad de la producción (MAR, 2018). Los suelos más adecuados para el cultivo del cacao son los de origen aluvial, francos y profundos, con subsuelo permeable, con profundidad mínima de un metro. Otras características deseables son, buen drenaje, ph entre 6,0 y 6,5, aunque el cacao es una planta tolerante a rangos extremos de alcalinidad, entre 4,5 y 8,5 (MAR, 2018).

5.8.1. Luminosidad

Ecofisiológicamente, el cacao es una planta con alta respuesta al hidroperiodo, de naturaleza umbrófila durante sus primeros años de vida, posteriormente se adapta a libre exposición gracias al autosombreamiento de su dosel (Sáenz Cardona & Cabezas Gutiérrez, 2007)

La luz es otro de los factores ambientales de suma importancia para el desarrollo del cacao, especialmente para la fotosíntesis. El cultivo de cacao es originario de la selva amazónica por lo que se ha desarrollado bajo altos niveles de precipitación y en condiciones de poca luz en el sotobosque (Carr & Lockwood, 2011).

La especie muestra características fotosintéticas de una especie tolerante a la sombra, que exhiben tasas saturados de asimilación neta de carbono (A) a la radiación fotosintéticamente activa (PAR niveles) entre 200 y 750 mol m^{-2} s^{-1} (Almeida et al., 2013). Las intensidades de luz no deben sobrepasar los 1000 umol m^{-2} S^{-1}, mayores intensidades de luz pueden causar efectos foto inhibidores (Jaimez et al., 2008). Por estas razones los cultivos de cacao en todo el mundo generalmente se establecen en ambientes sombreados.

Los primeros dos años de vida de este cultivo, es fundamental contar con sombrío, ya sea en forma de plantas de uso forestal o con hileras transitorias de plátano o banano (Sáenz Cardona & Cabezas Gutiérrez, 2007). En este contexto se recomienda una luminosidad del 40 al 50 % para el cultivo en formación y del 60 al 75 % para plantación adulta (López, 2011). Esta recomendación está dada para los genotipos de tal estudio y en sus condiciones edafoclimáticas.

5.9. Sombreo en el Cultivo de Cacao

Theobroma cacao L está distribuido desde México hasta el Amazonas en una gran diversidad de ambientes que ha propiciado una alta cantidad de tipos o cultivares, producto de procesos de domesticación y adaptación a condiciones climáticas muy particulares. Esto ha conllevado a que podamos tener una diversidad de cultivares con respuestas o tolerancia a variaciones y fluctuaciones de los parámetros micro climáticos (Almeida y Valle, 2007).

Además, el hecho de ser una planta poco tolerante a altas exposiciones solares ha conllevado a la propuesta de varios sistemas agroforestales donde las necesidades de fertilización y manejo de luz cambian (Jaimez et al, 2008). A más que, se cree comúnmente que los efectos negativos de los árboles de sombra en la productividad a corto plazo se verán parcialmente compensados por los efectos positivos de los árboles de sombra en la fertilidad del suelo y prevalencia de la enfermedad, lo que permitiría el mantenimiento de la producción durante períodos de tiempo más largo (Blaser et al., 2018). Sin embargo exiten plantaciones a plena luz, como es el caso de Ghana y Costa de Marfil, donde, el 50 % del área total de la finca de cacao está bajo sombra muy leve, mientras que un promedio del 35 % en Costa de Marfil se cultiva sin ningún tipo de sombra (Almeida & Valle 2007).

Tradicionalmente, se ha indicado que valores mayores de PAR causarían foto inhibición en la planta de cacao, sin embargo, recientes estudios en variedades ecuatorianas de cacao, clonal y CCN51, a alta luminosidad han mostrado incrementos de hasta el 35% en la tasa fotosintética neta (A) a 1 000 μmol m^{-2} s^{-1}, (Jaimez, R. et al. 2018) y al existir mayor fotosíntesis existirá por consiguiente un crecimiento más rápido y una mayor producción de fotoasmilados.

Asimismo, clones ecuatorianos cultivados en la provincia de Esmeraldas con altas densidad de flujo fotónico se redujeron significativamente tanto el área foliar específica y eficiencia cuántica

máxima del PSII, mostrando aclimatación morfo anatómica, como la regulación descendente del aparato fotoquímico, sin evidencias de foto inhibición crónica (Tezara et al., 2015).

El PAR (Radicación fotosintéticamente activa), no es la misma durante el día, así como difiere de 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-Castañeda, et al. 2018; Grossi Gallegos, 2004; Raffo & Iglesias, 2004;). 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. Por ejemplo, en un estudio reciente realizado en la amazonia colombiana donde se realizaron mediciones de la radiación solar, determinaron que las plantas de cacao exhiben una aclimatación óptima a condiciones de radiación solar relativamente alta y señalan que el rendimiento fisiológico óptimo de las plantas expuestas a radiación solar alta se haya asociado con la alta nubosidad típica de la Amazonía colombiana, una región que muestra un promedio anual de sólo 3-4 horas diarias de radiación (Suárez et al., 2018)

Por lo tanto, en Ecuador, donde la mayor parte del año hay alta densidad de nubes y baja demanda evaporativa, existe la posibilidad de cultivar cacao sin sombra (Duarte et al., 2019).

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Ubicación del Área de Estudio.

La presente investigación se desarrolló en la Quinta Experimental "El Padmi" de la Universidad Nacional de Loja, la misma que se encuentra ubicada en la parroquia Los Encuentros del cantón Yantzaza de la provincia de Zamora Chinchipe. Geográficamente se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas 3°44′387,40″S 78°36′55,16″O, con una altitud promedio de 820 msnm (Figura 2). De acuerdo a Köppen y Geirger el clima de la zona donde se estableció el ensayo es un Af[1], con una precipitación anual de 1959 mm, una temperatura media anual de 22,7 ºC, y una humedad relativa del 80 % (Climate-Data.Org 2020). La radiación solar global que presenta el Amazonas esta entre 4.53 y 2.93 (kW – h / m^2– Día), el valor bajo indica un alto porcentaje de nubosidad (Echegaray-Aveiga et al., 2018).

Los suelos de provincia Zamora Chinchipe son suelos superficiales, arcillosos, poco desarrollados, pobres, fuertemente ácidos, baja saturación de bases, elevado contenido de aluminio (Valarezo, 2004; USDA, 1975). El análisis de suelo realizado en lugar de estudio, presentaron las características físicas y químicas (Anexo 3).

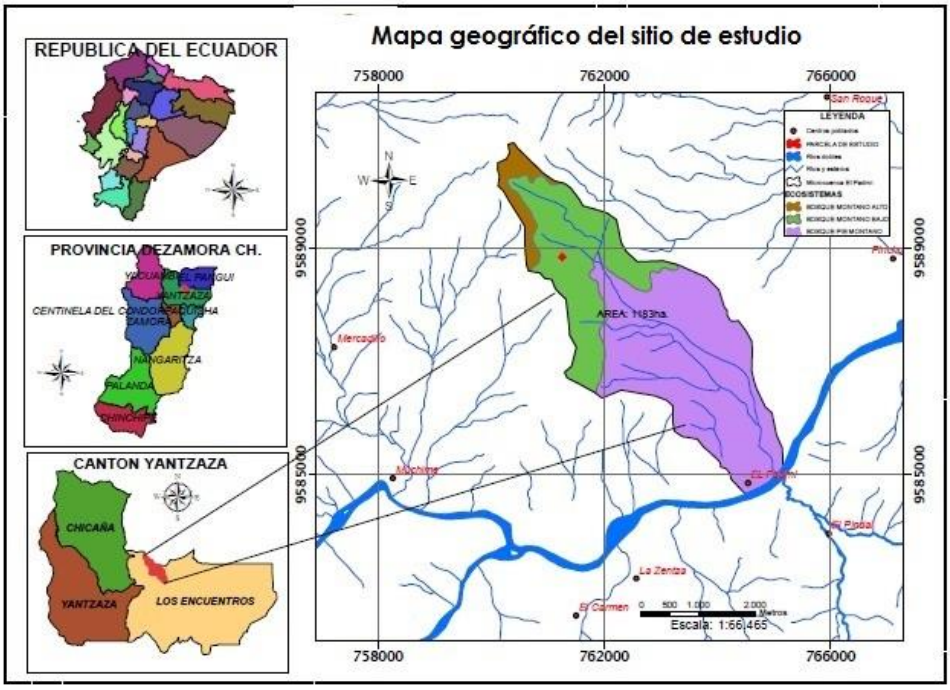

Figura 2. Ubicación de lugar de estudio Estación Experimental "El Padmi"

---

[1]Af: Se caracteriza por ser un clima cálido y lluvioso todo el año, sin estaciones. Es el clima de la selva lluviosa

6.2. Manejo del Experimento

La presente investigación se la ejecutó en dos etapas: una fase de campo y una de laboratorio. La fase de campo consistió en el establecimiento del cultivo, el análisis de suelo, la aplicación de sombreo al 0, 35 y 80 %, y el registro de datos de las características fisiológicas y de crecimiento de plantas de cacao clon EETP 801 se llevó a cabo desde agosto de 2020 a enero de 2021. Todas las plántulas recibieron el mismo manejo agronómico, corrección de nutrientes, prácticas culturales y manejo de plagas y enfermedades acorde a las necesidades del cultivo, con el fin de controlar posibles fuentes de variación.

La segunda etapa se llevó a cabo en el Laboratorio de Aguas, Suelo y Bromatología de la Universidad Nacional de Loja y en el laboratorio de Suelos, Tejidos Vegetales y Aguas perteneciente a la Estación Experimental Pichilingue del INIAP. En la UNL, se midió el pH del suelo, Conductividad Eléctrica (CE), concentración de clorofila, densidad estomática y en el INIAP Pichilingue se realizó el análisis de contenido nutricional de las hojas.

6.2.1. Material vegetal

Se utilizaron plantas de cacao clon EETP 801 en estado inicial de desarrollo. Se seleccionó este clon por ser una variedad representativapara el Ecuador, descrito como un clon de alto potencial productivo (2,4 a 3 t/ha/año de cacao seco) y es resistente a plagas y enfermedades (*Monilla perniciosa, Mollioptera roreri y Ceratocystis fimbriata*) (Loor et al., 2018). El marco de plantación que se utilizó fue de 3,5 m x 4 m, con una densidad de 714, 28 plantas ha.

6.2.2. Análisis de Suelo

Para el análisis de suelo se muestreó el área de estudio aplicando la metodología de suelos de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGROCALIDAD). El muestreo fue al azar tomando ocho sub-muestras, mismas que fueron mezcladas homogéneamente, y a través del Método de los Cuartos Opuestos se obtuvo una muestra representativa de aproximadamente 1 kg. Posteriormente, la muestra fue enviada al Laboratorio de Manejo de Suelos y Aguas de la Estación Experimental “Santa Catalina” del INIAP para el análisis físico y químico (Anexo 3).

6.3. Diseño Experimental

Para el ensayo se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), trabajándose tres tratamientos, seis repeticiones, la unidad experimental estuvo constituida por un árbol dando un total de 18 unidades experimentales (Tabla 3), cada unidad experimental. El modelo matemático empleado para este ensayo fue:

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

Y= variable de respuesta

μ= media poblacional

$\boldsymbol{\tau_i}$=efecto fijo del tratamiento i

ε= error experimental.

Tabla 3. Descripción del factor, tratamiento y niveles empleados en el ensayo experimental, en cacao clon ETPP 801.

Factor	Tratamiento	Niveles (%)	Repeticiones
SOMBRA	**T1**	0	6
	T2	35	6
	T3	80	6

6.3.1. Aplicación de tratamientos

Los tratamientos estuvieron dados por 3 niveles de sombra, aplicados en plantas de cacao clon EETP 801.

6.3.1.1. Aplicación de sombra

Para emplear el nivel de sombreo se utilizó sarán o polisombra, consiguiendo 2 intensidades de 35 y 80 % de sombra. La malla se instaló a 1,50 m sobre el suelo, las dimensiones de la polisombra fueron de 1,30 m de ancho x 1,40 m de largo, cubriendo un área de 1,82 m^2 diseñándose una estructura en forma de caseta independiente para cada planta de los tratamientos 2 y 3 (Figura3. Las plantas del tratamiento testigo (T1), estuvieron expuestas a plena radiación solar

Figura 3. Diseño de la estructura con la malla sarán para efectuar la sombra en el cacao clon EETP 801.

6.3.2. Delineamiento experimental.

Dentro del campo de estudio se encuentra establecidos 3 clones de cacao (CCN 51, EETP 800 y EETP 801) de alto potencial productivo, sembrados en bloques distintivos. Para esta investigación se seleccionó el clon EETP 801, y los tratamientos con sus repeticiones fueron distribuidos completamente al azar dentro del campo de cultivo (Figura 4).

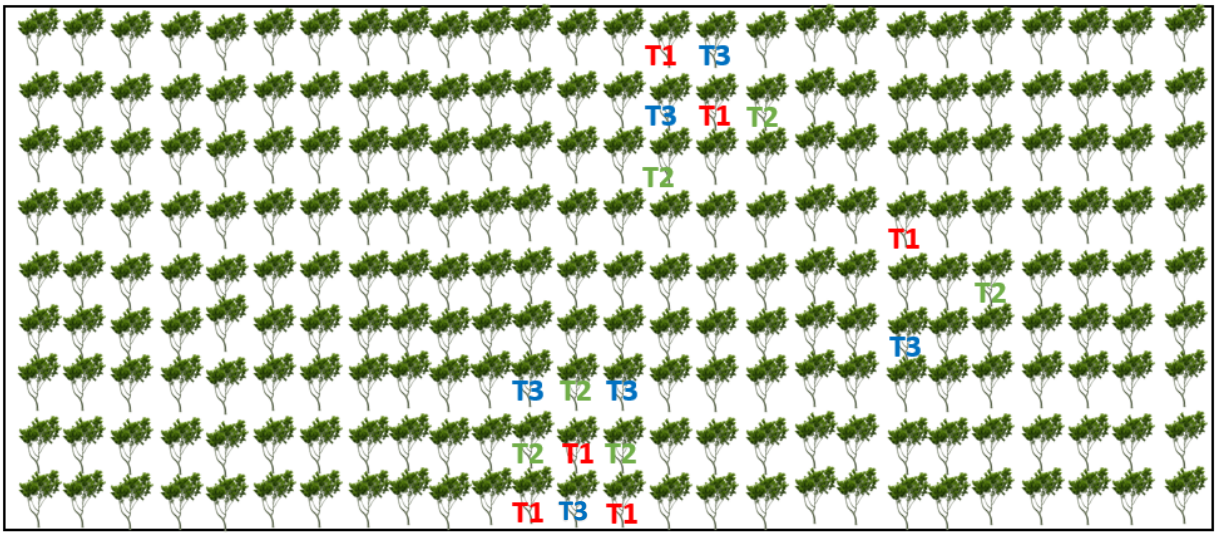

Figura 4. Esquema del diseño experimental y tratamientos implementados en campo (T1: 0 % de sombra, T2: 35 % de sombra, T3: 80 % de sombra), establecido bajo un Diseño Completamente al Azar.

6.4. Variables

Las variables morfológicas evaluadas fueron: altura de la planta y longitud del brote, y se registraron cada 20 días desde el inicio de la aplicación de los tratamientos. El área de la sección transversal del tronco (ASTT) se registró al inicio y final del ensayo; en cambio, la longitud y número de metámeros, área foliar, índice de área foliar, concentración de la clorofila, estructura anatómica de la hoja y densidad estomática fueron registradas al final del ensayo. Además, se midió el pH y conductividad eléctrica del suelo, con una frecuencia de 20 días.

Altura de la planta: con una cinta métrica se midió la altura de la planta en cm desde la base del tallo hasta el ápice.

Área de la sección transversal del tronco (ASTT): con una cinta métrica se midió la circunferencia del tronco principal a 5 cm sobre el suelo. El dato se expresó en cm^2. El ASTT se calculó utilizando la siguiente fórmula: $ASTT=(\pi d^2)/4$. Dónde: d= diámetro del tronco (cm) y π= valor constante (3.1416), expresado el dato en cm^2.

Longitud del brote: se marcó un brote por planta, por tratamiento, en 3 repeticiones, localizados en la parte terminal de la planta, midiendo su longitud con una cinta métrica; además, se determinó la Tasa Absoluta y Relativa de crecimiento de los brotes seleccionados.

Tasa de crecimiento absoluta (TCA): se estimaron cada 20 días, desde el estadio 20 hasta el final del ensayo, empleando las siguientes fórmulas:

$$\boldsymbol{TCA} = \frac{\Delta L}{\Delta t}$$

Dónde: ΔL= longitud inicial – longitud final y Δt= tiempo inicial – tiempo final.

Tasa de crecimiento relativa (TCR): En los brotes marcados se determinó la TCR, que corresponde al incremento de longitud por unidad de tamaño y por unidad de tiempo, expresando en cm cm día-1, se determinó al final del crecimiento del brote. Para ello se usó la siguiente formula:

$$\boldsymbol{TCR} = \frac{1}{Li} * \frac{\Delta L}{\Delta t}$$

Dónde: Li = longitud inicial, ΔL= longitud inicial – longitud final y Δt= tiempo inicial – tiempo final.

Longitud y número de metámeros: a los brotes marcados, se les contabilizó el número de entrenudos y con base en su longitud total por división se calculó la longitud promedio del metámero de cada brote.

Área foliar del brote: se determinó utilizando un ajuste de regresión simple, con todas las hojas en diferentes estadios de cada uno de los brotes seleccionados inicialmente, que se desarrollaron durante la aplicación de los tratamientos, esto con la finalidad de tener la progresión de crecimiento de las hojas de cada brote, por tratamiento en tres repeticiones. El área de las hojas se calculó mediante el método de análisis digital de fotografías empleando software Photoshop; así mismo, se midió el largo y ancho de las mismas para establecer una ecuación de ajuste con cada medida registrada.Posteriormente, se determinó el área foliar con la ecuación obtenida sobre los brotes marcados.

Índice de área foliar (IAF): se utilizaron estimaciones alométricas, basadas en un análisis de regresión cuyo ajuste fue el modelo potencial para el ancho de la hoja, considerando los resultados del área foliar obtenidos anteriormente y la superficie del suelo ocupada por la planta. Al medir el ancho del total de las hojas de la planta, se calculó el área total de la cobertura foliar de la planta (IAF) de cacao.

En lo que respecta al cálculo de la superficie del suelo ocupada por la planta, se realizó asumiendo la proyección de la copa como un círculo, y se midió el diámetro de la proyección y se calculó la superficie. Para el cálculo del IAF se utilizó la siguiente fórmula:

$$IAF = \frac{Área\ foliar}{Superficie\ del\ suelo}$$

Concentración de clorofila: esta variable se evaluó a los 80 días después del tratamiento (DDT), y se determinó la concentración de clorofila a, b y total con el protocolo de análisis de clorofila por espectrofotometría (Rodés y Collazo, 2006).

Se muestrearon dos hojas de cacao clon EETP 801 del tercio medio de los brotes inicialmente seleccionados, hojas totalmente sanas y funcionales, por cada tratamiento, en tres repeticiones. A nivel de laboratorio se procedió a lavarlas, secarlas y eliminar la base, el ápice y los bordes de las mismas. Posteriormente se cortaron en secciones pequeñas, sin nervaduras.

Para extraer los pigmentos de las hojas, se pesaron 0,5 g de hojas seccionadas anteriormente, colocándolas en tubos de ensayo envueltos en papel aluminio para evitar que penetren los rayos solares. A ello, se le añadieron 3 ml de etanol al 90 %, de modo que los segmentos queden bien sumergidos en el solvente orgánico. Seguidamente, se llevaron las muestras a baño maría a 80° C durante 20 minutos, para que los pigmentos fotosintéticos queden disueltos en el solvente. Al cabo de este tiempo, los segmentos quedaron totalmente decolorados y el solvente de color verde, por último, se sacó los restos de muestra de los tubos.

Para cuantificar los pigmentos se tomó 1 ml del sobrenadante de cada uno de los extractos y se diluyó hasta 5 ml con el solvente utilizado, después se midió en un espectrofotómetro a longitudes de onda deseada, el blanco es el solvente utilizado, bien tapado para evitar que se volatilice, según (Mackinney, 1941), las ondas para medir la cantidad de absorbancia son de 645 y 663 nm, de igual manera se utilizó las siguientes fórmulas:

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

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

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

Dónde: 12,7; 22,9; 20,2; 2,69;4,68; 8,02, A663 y A645 son constantes; CA: Clorofila A, CB: Clorofila B, C Total: Clorofila total.

Densidad estomática: se aplicó la técnica de la impronta, la cual consistió en utilizar una fina capa de esmalte para uñas transparente en un área pequeña del envés de las tres hojas muestreadas en la variable anterior. Después que el esmalte se secó, la capa fue removida y montada en un

portaobjetos. Se tomaron dos muestras de cada hoja en la región de la parte central entre las venas secundarias.

Las estomas se observaron en el microscopio óptico, con un aumento de 10x y se utilizó el programa Anfinity Analize 5.0 para fotografiar, marcando tres cuadros de 1000 µm (1 mm) cada uno, lo que facilitó el conteo de los estomas, expresándose el dato en número de estomas por mm^2 (Barrientos et al., 2003).

Contenidos foliares nutricionales: Se realizaron análisis nutricionales de tejidos foliares al término del experimento, para evaluar el contenido de N, P, K, Ca y Mg. Para lo cual se recolectaron de 10 a 15 hojas de cada repetición (total 3 repeticiones) Las muestras se seleccionaron de brotes de la temporada, del tercio medio de canopia y se enviaron al laboratorio de Suelos, Tejidos Vegetales y Aguas perteneciente a la Estación Experimental Pichilingue del INIAP para respectivo análisis bajo los protocolos establecidos por esta entidad.

pH del suelo

En un periodo de 6 meses, desde agosto de 2020 hasta enero de 2021, cada 20 días se realizó el análisis de Ph del suelo, tomando 4 repeticiones por tratamiento, recolectando 200 gr de suelo a 10 cm de profundidad. Las muestras fueron secadas al aire libre y tamizadas en malla de 2 mm, para su posterior análisis en el Laboratorio de Análisis Químico de la UNL donde con la ayuda de un potenciómetro (electrodo de vidrio) se procedió a medir el pH en agua destilada con una relación (suelo: agua) (1:2.5) para conocer los cambios que se dieron en las propiedades del suelo durante la investigación. Para ello se tomó 20 ml de suelo y se agregó 50 ml de agua destilada, se agitó por 5 minutos a 400 rpm y se dejó en reposo por 30 minutos, luego se midió con el potenciómetro previamente estandarizado.El valor inicial del pH fue de 5,53 (Anexo 2).

Conductividad eléctrica del suelo.

En las muestras colectadas para pH del suelo se realizó el análisis de CE utilizando aproximadamente 100 ml de suelo previamente pasado por un tamiz de 2 mm después se agregó agua destilada agitando con una varilla de vidrio o espátula. Después de mezclar se dejó reposar la muestra 24 horas antes de filtrar en un embudo Buchner aplicando vacío. Y finalmente se midió la resistencia eléctrica de la suspensión en las escalas dadas por el equipo (conductímetro). La CE se expresó en decisiemens por metro (dS/m).

6.5. Análisis Estadístico

Se realizó análisis de varianza (ANOVA) para determinar el efecto de los tratamientos (Di Rienzo et al., 2018). Para identificar las diferencias significativas, se aplicó el test de comparación múltiple mediante el test de Tukey al 95, La construcción de los gráficos de altura de planta, ASTT, TCA, TCR, longitud de brotes, pH y CE se utilizó el software GraphPad Prisma 8.0, y los programas InfoStat versión 2018 y Microsoft Excel. Y para estimar el área foliar, se hizo un análisis de regresión, así mismo para la relación entre variables cuantitativas, se realizó el análisis de correlación de Pearson (95%).

7. RESULTADOS

7.1. Variables Morfológicas

7.1.1. Altura de la planta

El crecimiento de las plantas de cacao, en las unidades experimentales mantuvieron un crecimiento constante (Figura 5), sin embargo, al realizar el análisis de varianza (ANOVA) no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre tratamientos en las diferentes fechas de medición

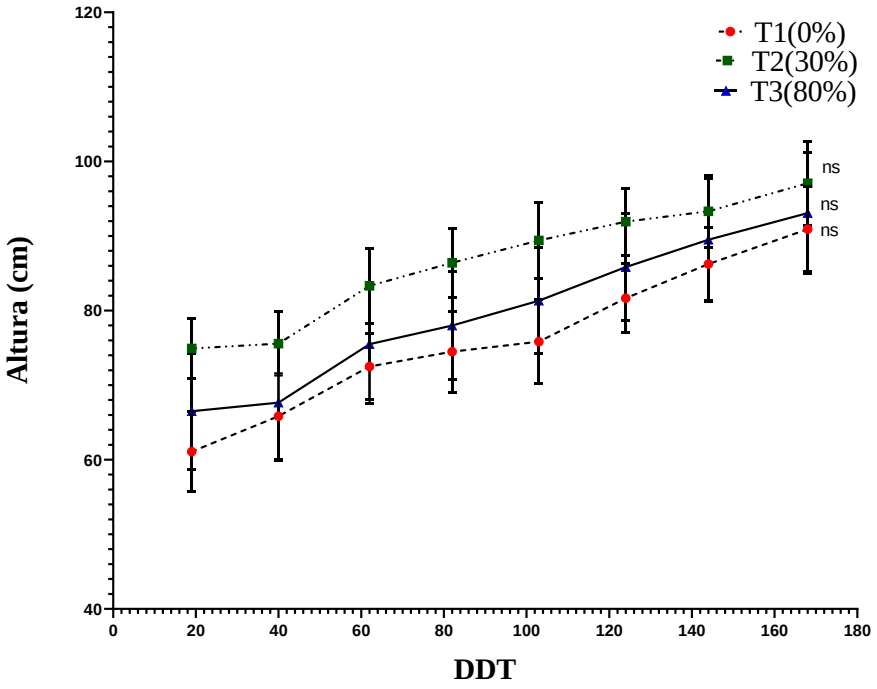

Figura 5. Altura de la planta en unidades experimentales de cacao.
DDT: Días después del tratamiento
ns: No significativa
Las barras sobre cada punto indican el error estándar.

7.1.1.1. Incremento de altura de planta

En los datos de incremento de la altura de la planta evaluados en el ensayo experimental de cacao (Anexo 5, Tabla 12), no se presentaron diferencias estadísticas significativas (Figura 6).

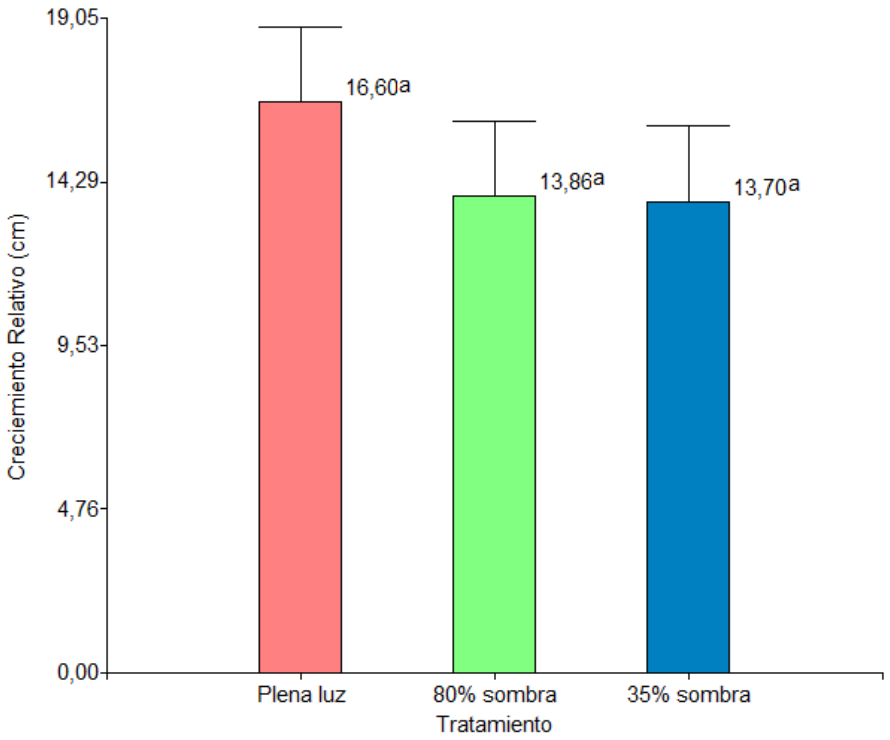

Figura 6. Incremento de altura de la planta en las unidades experimentales de cacao, después de la aplicación de tratamientos (DDT). Letras diferentes representan diferencias estadísticas significativas, Tukey (p<0,05). Las barras sobre cada columna indican el error estándar

7.1.2. Tasa de crecimiento relativa de la planta

Los datos de la tasa de Crecimiento Relativa (TCR) de la altura de las plantas de cacao evaluadas desde 19 hasta 168 días después de la primera medición, si presentan diferencias estadísticas significativas, a los 40 días únicamente. Donde el tratamiento a plena luz es diferente al tratamiento 35 % sombra y 85% sombra. Teniendo valores de 0,0008, 0,0003 y 0,0003 cm cm/día respectivamente. En los demás días no se encontraron diferencias significativas. Los valores iniciales y finales de los tratamientos presentaron entre 0,00038 y 0,0037 cm cm/día en el tratamiento a plena luz, entre 0,00033 y 0,0021 cm cm día^{-1} en el tratamiento 35 % sombra, y 0,00023 y 0,0029 cm cm día^{-1} en el tratamiento 85 % sombra (Tabla 4).

Tabla 4. Tasa de crecimiento relativa del brote después de cada aplicación de los tratamientos (DDT).

Tratamiento	**Tasa de crecimiento relativa de la planta** (mm cm día^{-1})							
	19 DDT	40 DDT	62 DDT	82 DDT	103 DDT	124DDT	144DDT	168 DDT
Plena luz	0,00038	0,0008 a	0,0017	0,0018	0,0020	0,0027	0,0032	0,0037
35% sombra	0,00033	0,0003 b	0,0010	0,0012	0,0015	0,0017	0,0018	0,0021
80% sombra	0,00023	0,0003 b	0,0011	0,0014	0,0017	0,0022	0,0026	0,0029

**Letras iguales en sentido vertical no expresan diferencia estadística significativa mediante prueba de Tukey HDS (p<0,05)*
*** DDT: Días después del tratamiento*

7.1.3. Tasa de crecimiento absoluta de la planta

La tasa de crecimiento absoluta durante el transcurso de evaluación, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (Anexo 5, Tabla 13). Los valores que presentaron fueron 0,20 cm/día para el tratamiento a plena luz, 0,15 cm/día para tratamiento 35% sombra y finalmente 0,17 cm/día para el tratamiento 80 % sombra (Figura 7).

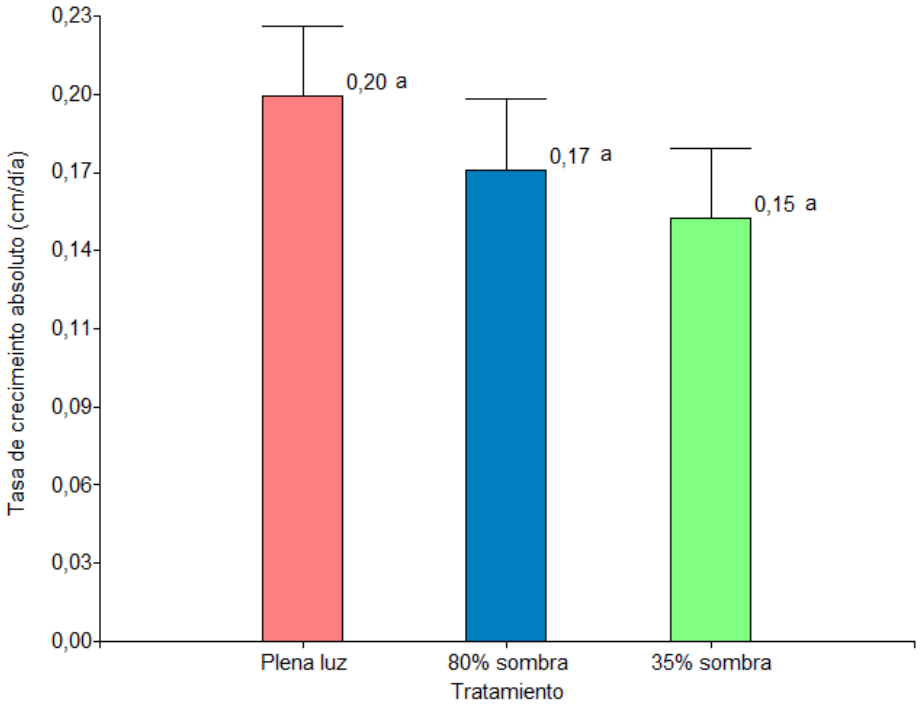

Figura 7. Tasa de crecimiento absoluto de las plantas de cacao clon EETP 801, tomadas al inicio y al final del ensayo. * Letras diferentes representan diferencias estadísticas significativas, Tukey (p<0,05). **Las barras sobre cada columna indican el error estándar.

7.1.4. Longitud del brote

El crecimiento de los brotes evaluados en las unidades experimentales durante la primera evaluación a los 19 días y la ú1tima a los 168 días se mantuvo constante (Figura 8), sin embargo, al realizar el análisis de varianza (ANOVA) no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) entre tratamientos.

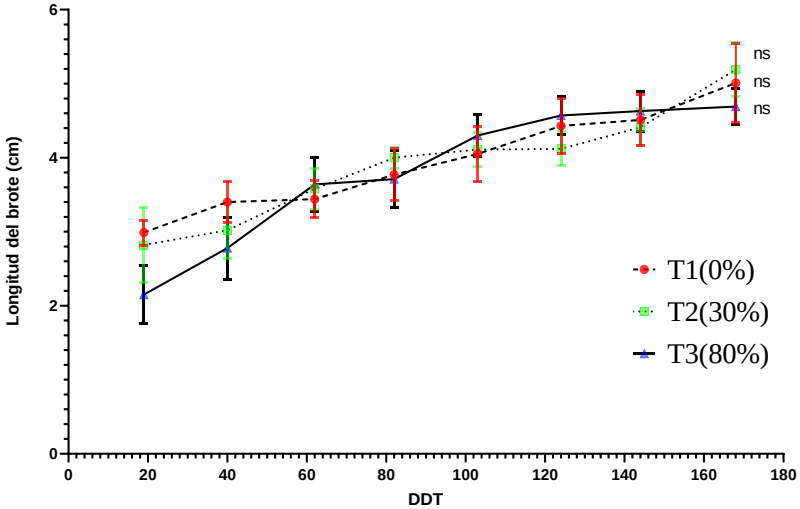

Figura 8. Crecimiento de brotes desde los 19 a 168 días después de la aplicación de tratamientos (DDT).
DDT: Días después del tratamiento
ns: No significativa
Las barras sobre cada punto indican el error estándar

7.1.4.1. Incremento del largo del brote

En los datos de incremento del largo de brote evaluados en el ensayo experimental de cacao Clon EETP 801 presentó un crecimiento discontinuo desde el día 19 hasta 168 días después de emerger el brote, sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas (Anexo 5, Tabla 14). A los 19 días se presentaron valores de 1,30,0,72 y 0,26 cm; y a los 168 días se mostraron valores de 19,26, 17,94 y 16,60 respectivamente (Figura 9).

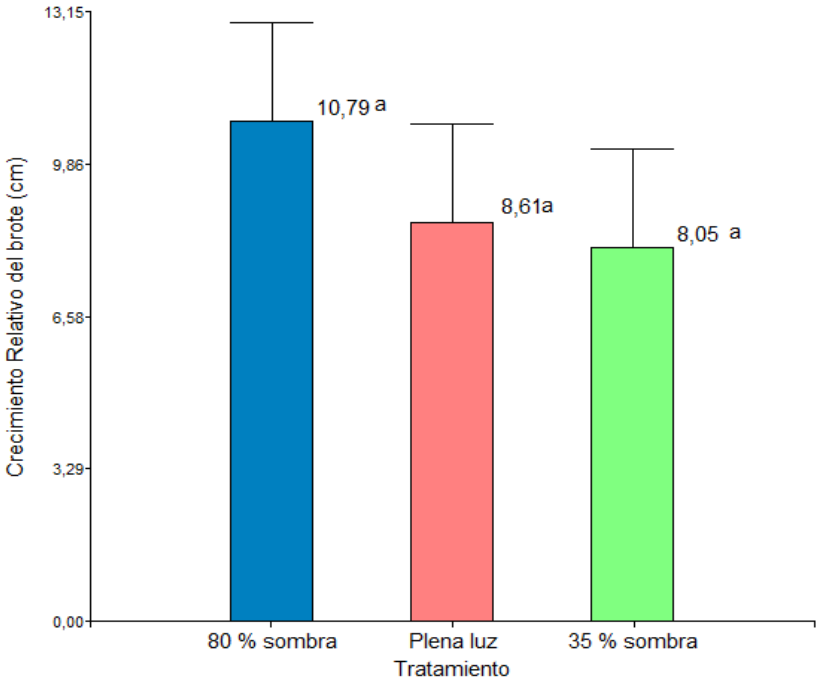

Figura 9. Incremento de la longitud del brote en las unidades experimentales de cacao desde los 19 hasta 168 días después de la aplicación de tratamientos (DDT). Letras diferentes representan diferencias estadísticas significativas, Tukey ($p<0,05$). Las barras sobre cada columna indican el error estándar.

7.1.5. Tasa de crecimiento relativo de la longitud del brote

Los datos de la tasa de Crecimiento Relativa (TCR) de la longitud del brote de las plantas de cacao evaluadas desde 19 hasta 168, no presentan diferencias estadísticas significativas (Anexo 5, Tabla 15). Los valores iniciales presentados a los 19 días de 0,001,0,002 y 0,005 cm cm día^{-1} y a los 168 días de 0,07,0,08 y 0,10 cm cm día^{-1} para los tratamientos Plena luz, 35% sombra y 80% sombra respectivamente (Figura 10).

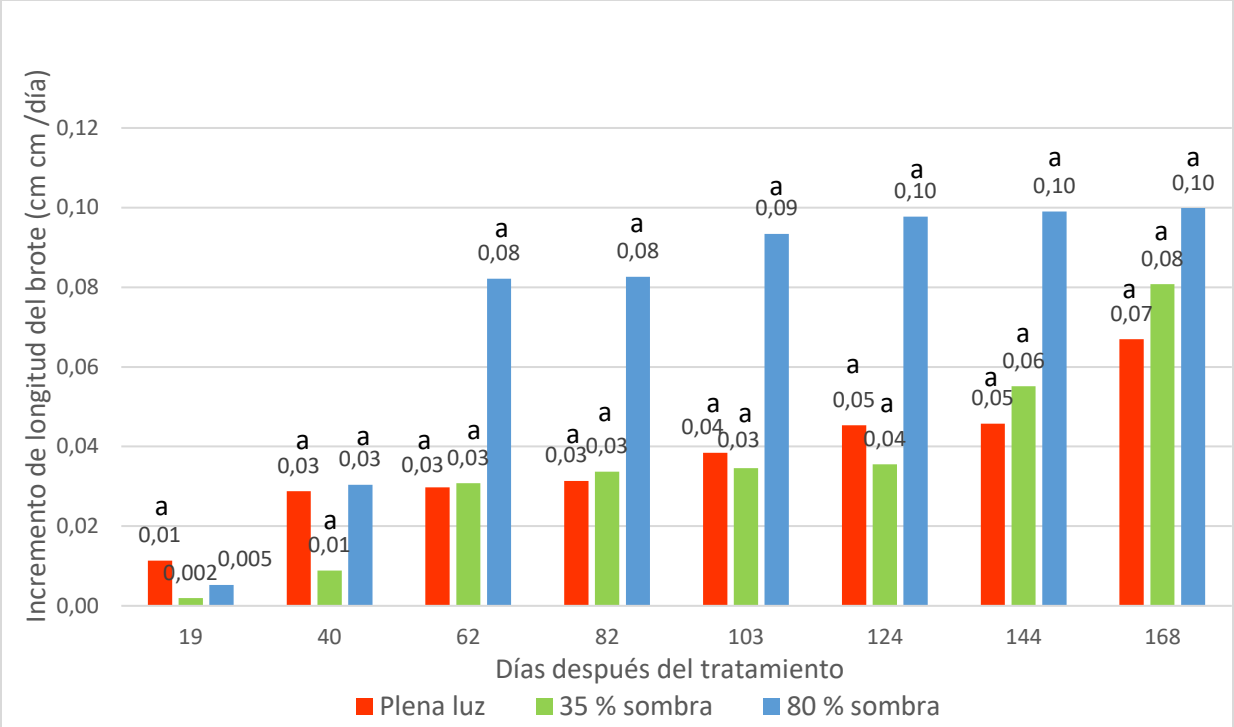

Figura 10. Tasa de crecimiento relativo en las unidades experimentales de cacao desde los 19 hasta 168 días después de la aplicación de tratamientos (DDT). Letras diferentes representan diferencias estadísticas significativas, Tukey (p<0,05)

7.1.6. Tasa de crecimiento absoluta de la longitud del brote.

La tasa de crecimiento absoluta de la longitud del brote durante el transcurso de evaluación (Anexo 5, Tabla 16), no se encontraron diferencias estadísticas significativas (p > 0,05) entre los tratamientos. Los valores que se presentaron para el tratamiento a plena luz fueron de 0,117 cm/día y 0,121, 0,111 cm/día para el tratamiento 35% sombra y 80 % sombra respectivamente (Figura 11).

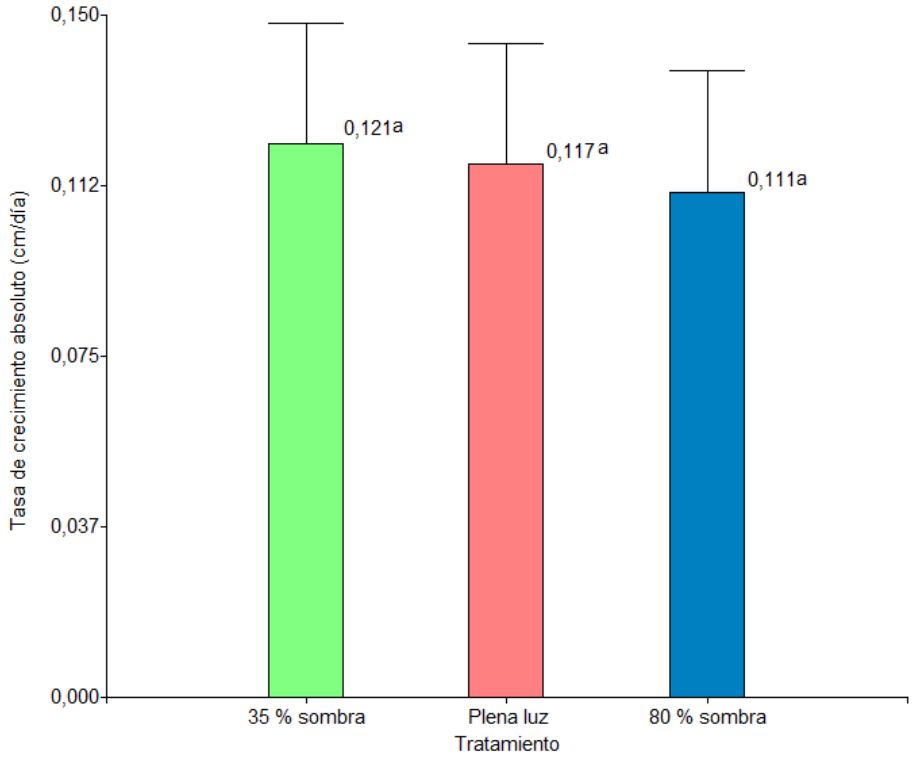

Figura 11. Tasa de crecimiento absoluto de la longitud del brote de cacao clon EETP 801, tomadas al inicio y al final del ensayo. Letras diferentes representan diferencias estadísticas significativas, Tukey ($p<0,05$). Las barras sobre cada columna indican el error estándar.

7.1.7. Crecimiento relativo del área de la sección transversal del troco (ASTT).

Los valores promedios del área de la sección transversal del tronco tomados al inicio y final del ensayo, no presentaron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos Anexo 5, Tabla 17). Los valores que se presentaron para el tratamiento a plena luz fueron de 2,42 cm^2 y 2,82, 2,57 para los tratamientos al 35 y 80 % sombra respectivamente (figura 12).

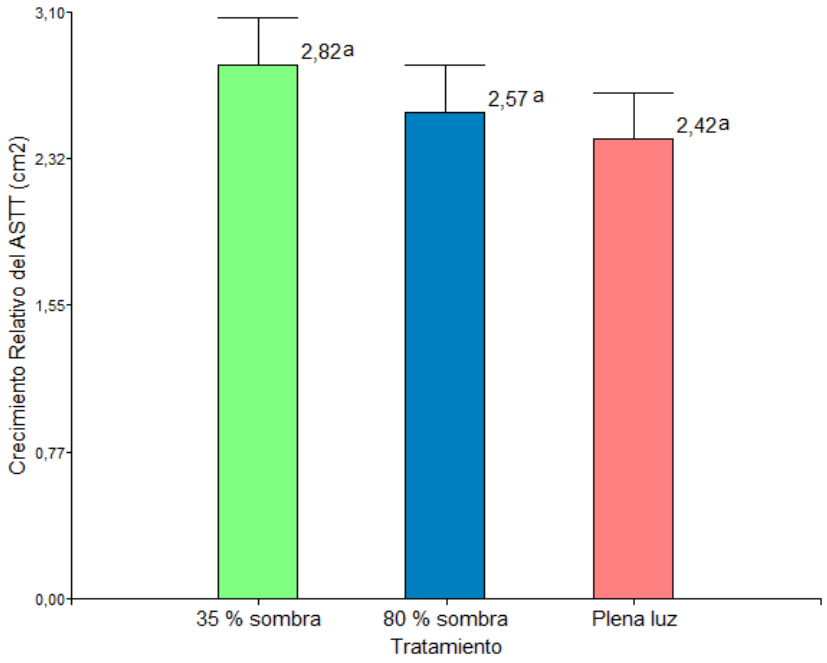

Figura 12. Expresión del crecimiento relativo del área de la sección transversal del tronco en plantas de cacao clon EETP801, tomadas al inicio y final del ensayo. Letras diferentes representan diferencias estadísticas significativas, Tukey (p<0,05). Las barras sobre cada columna indican el error estándar.

7.1.8. Longitud y número de metámeros

Los resultados de la longitud y número de metámeros, evaluados a los 168 días después de la aplicación del tratamiento, no presentaron diferencias estadísticas significativas (p > 0,05) entre los tratamientos (Anexo 5, Tabla 18 y 19) . Las medias que se observaron entre los tratamientos en cuanto a longitud y numero de metámeros; donde el tratamiento al 80% de sombra mostro un mayor número de metámeros, llegando a una media 14 metámeros, mientras que los valores más bajos le corresponden al tratamiento a plena luz con 12,17 metámeros; caso deferente en la longitud de los metámeros, donde el tratamiento al 80 % sombra fue la que presentó el menor valor promedio de 1,64 cm, mientras que los valores más altos los alcanzó el tratamiento a plena luz con una media de 2,10 cm (Tabla5).

Tabla 5. Longitud y número de metámeros a los 168 días después de la aplicación de los tratamientos

Tratamiento	Número de metámeros	Longitud de metámeros (cm)
Plena luz	12,17 ns	2,10 ns
35 % sombra	13,67 ns	2,01 ns
80 % sombra	14,00 ns	1,64 ns

*ns: No significativa

7.1.9. Área foliar de la planta, área foliar del brote e IAF de la planta.

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, como se muestra en la figura 13. La ecuación se derivó del análisis alométrico es $0{,}3491x^{1{,}9115}$ con un $R^2 = 0{,}9422$.

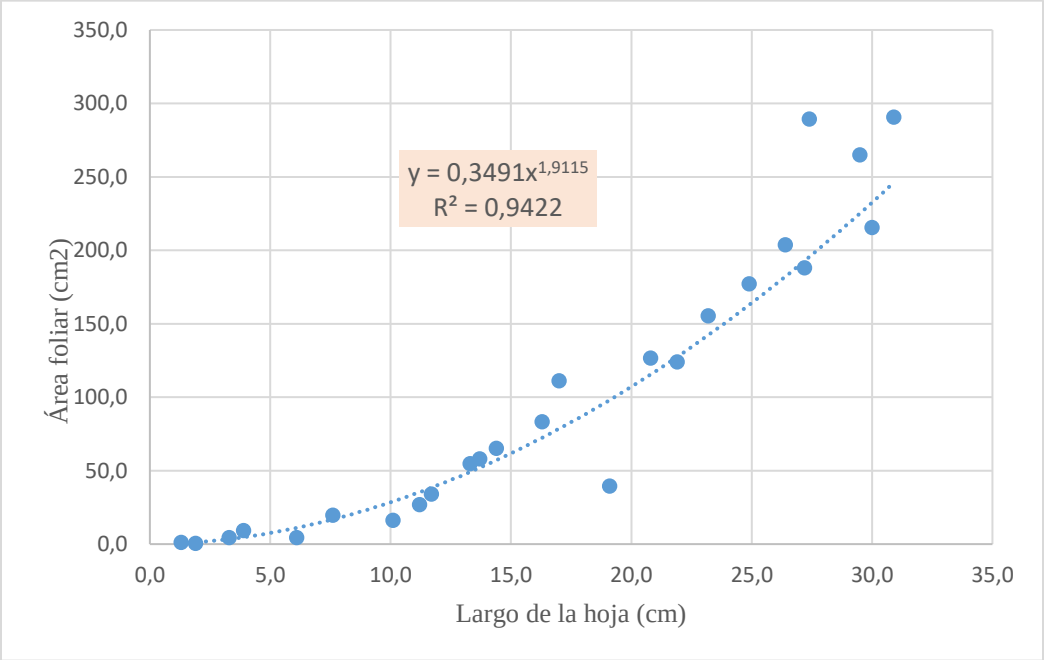

Figura 13. Relación entre el área foliar y el largo de la hoja, determinado a partir de hojas de cacao clon EETP 801.

En la tabla 6 se muestra los promedios del área foliar total de la planta, índice de área foliar (IAF) y el área foliar del brote evaluados a los 168 días después de la aplicación de tratamientos. No se encontraron diferencias significativas ($p > 0{,}05$) entre los tratamientos (Anexo 5, Tabla 20,21,22 y 23).

Tabla 6. Valores promedios del área foliar de la planta, área foliar del brote e IAF (índice del área foliar) de la planta y del brote, evaluados a los 168 días después de aplicado los tratamientos.

Tratamiento	Área foliar total (cm^2)	IAF	Área foliar brote (cm^2)
Plena luz	8763,90 ns	0,064 ns	866,56 ns
35 % sombra	8260,23 ns	0,062 ns	960,37 ns
80 % sombra	8867,95 ns	0,065 ns	1067,48 ns

7.2. Variables Fisiológicas

7.2.1. Contenido de clorofila.

Los resultados del contenido de clorofila A, B y total (Tabla7), evaluados a los 168 días después de la aplicación de los tratamientos, se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) (Anexo 5, Tabla 24, 25 y 26). Con lo que respecta a la variable clorofila A, se presentó diferencia estadística entre los tratamientos, tal como se muestra la figura 14. Así mismo, la clorofila B, mostro un efecto de la sombra al 80 % tal y como lo detalla la figura 15. En cuanto a la clorofila total, también presentó diferencia estadística entre tratamientos, tal y como se muestra en la figura 16.

Tabla 7. Contenido de clorofila A, B y total a los 164 días después de aplicado los tratamientos

Tratamiento	Clorofila A (ug/ml)	Clorofila B (ug/ml)	Clorofila total (ug/ml)
Plena luz	1,64 a	0,77 a	2,41 a
35 % sombra	1,25 a	0,76 a	2,01 a
80 % sombra	11,95 b	5,43 b	17,37 b

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

El mayor contenido de clorofila A, se registró en las plantas expuestas al tratamiento 3 (80 % sombra) con una media de 11,95 ug ml^{-1}, mientras que el menor contenido de clorofila A se registró en plantas sometidas a una sombra del 30 % (T2) con una media de 1,25 ug ml^{-1} (figura 14).

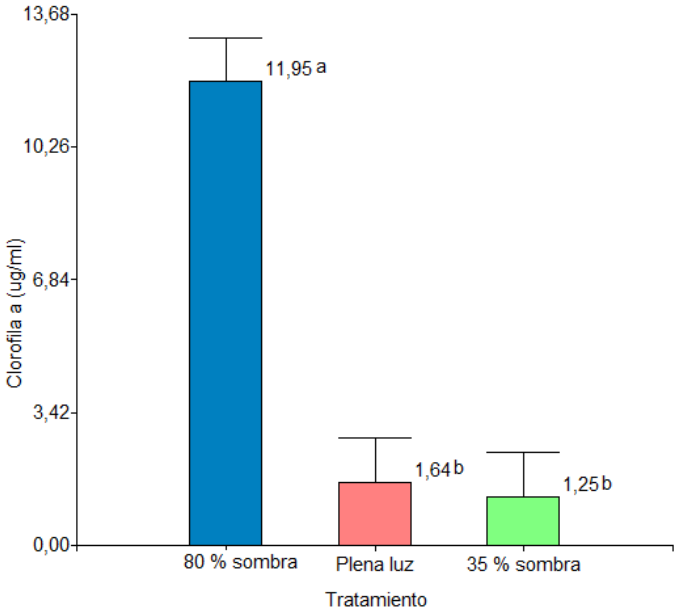

Figura 14. Contenido de clorofila A, evaluado a los 168 días después de la aplicación de los tratamientos en plantas de cacao clon EETP801. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa, según test de Tukey (p<0,05). Las barras sobre cada columna indican el error estándar.

En la figura 15 muestra los valores del contenido de clorofila B, donde se evidencio que el tratamiento 3 (80 % sombra), presento una media mayor de 5,43 ug ml^{-1}, mientras que el tratamiento 2 (30 % sombra), mostró una media menor de 0,76 ug ml^{-1}.

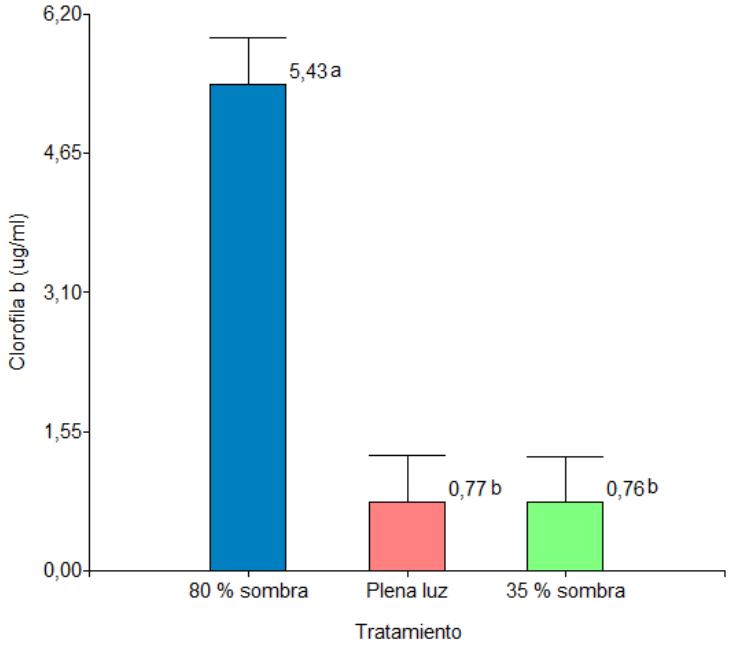

Figura 15. Contenido de clorofila A, evaluado a los 168 días después de la aplicación de los tratamientos en plantas de cacao clon EETP801. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa, según test de Tukey ($p<0,05$). Las barras sobre cada columna indican el error estándar.

El mayor contenido de clorofila total a los 168 días después de la aplicación de los tratamientos, presentó las plantas sometidas al 80 % de sombra con 17,37 ug ml^{-1} y, el menor contenido de clorofila mostró las plantas expuestas al 30 % de sombra con 2,01 ug ml^{-1} (figura 16).

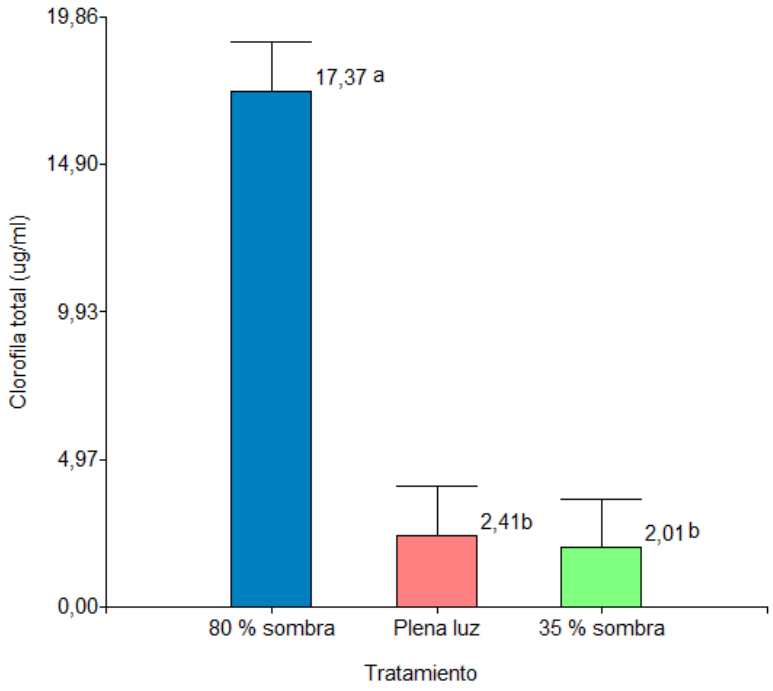

Figura 16. Contenido de clorofila total, evaluado a los 168 días después de la aplicación de los tratamientos en plantas de cacao clon EETP801. *Letras diferentes indican diferencia estadística significativa, según test de Tukey ($p<0,05$).** Las barras sobre cada columna indican el error estándar.

7.2.2. Densidad estomática

La densidad estomática evaluada a los 168 días después de la aplicación de tratamientos (figura 17), no presentó diferencia estadística significativa entre tratamientos (Tabla 7).

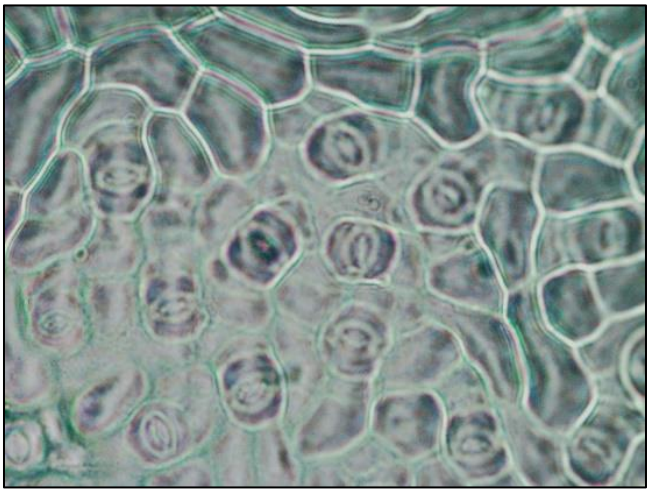

Figura 17. Estomas en hojas de cacao clon EETP801, observados al microscopio con un aumento de 40X

Tabla 8. Medias de la densidad estomática evaluadas a los 168 días después de la aplicación de tratamientos en hojas de cacao clon EETP8001.

Tratamiento	Densidad estomática (estomas/mm^2)
Plena luz	970,34 ns
35 % sombra	1031,27 ns
80 % sombra	942,71 ns

**ns: No significativa*

7.2.3. Análisis pH del suelo

La figura 18 muestra las curvas de pH evaluadas desde los 19 a 168 días después de la aplicación de tratamientos. Se inició con el pH de 5,53, analizado previo a realizarse el ensayo. Se encontraron diferencias estadísticas significativas a los 144 y 168 días de iniciado el ensayo experimental, por otra parte, desde el día 19 hasta el 124 no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. A los 144 días, el tratamiento 1, alcanzo una medía mayor de 5,65, mientras que el valor más bajo presentó el tratamiento 2 con 5,21. En el día 168 DDT, el tratamiento 2 alcanzó la media mayor de 5,45, y la media menor lo expresó el tratamiento 3 con 4,96. Con respecto a los demás días de evaluación, la medía mayor se alcanzó el tratamiento 2 a los 82 días con 5,77, mientras que la media menor presentó el tratamiento 3 a los 40 días con 5,12.

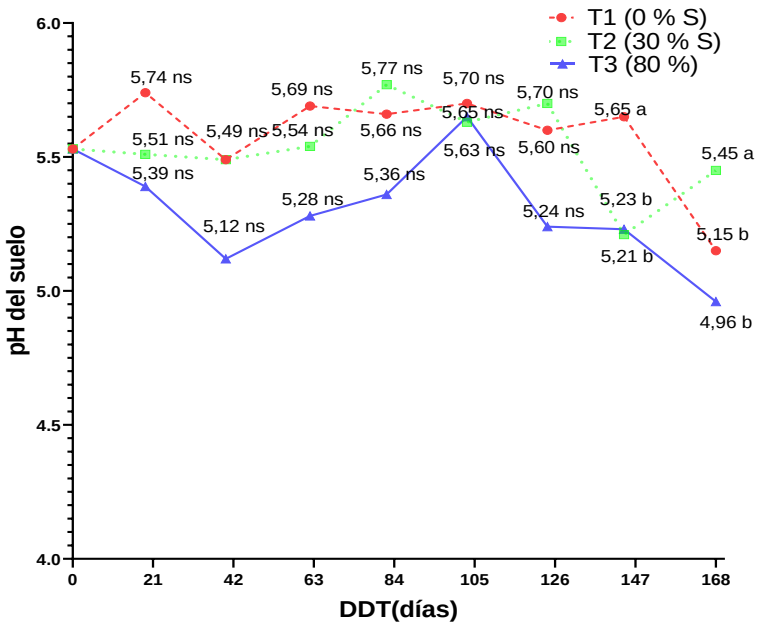

Figura 18. Dinámica del Ph durante el transcurso de evaluación del ensayo, en las plantas de caco clon EETP801. DDT: Días después del tratamiento. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa, según test de Tukey (p<0,05).

4.2.4. Conductividad eléctrica del suelo.

En la tabla 9 muestra los valores promedios de la conductividad eléctrica del suelo, evaluados a los 19 hasta 168 días después de la aplicación de los tratamientos, se presentó diferencias estadísticas significativas a los 19 días, donde el tratamiento 1 mostró la media mayor de 0,498 dS m^{-1}, mientras que la media menor registró el tratamiento 2 con 0,192 dS m^{-1}. Por otro lado, en los días 40,62,82,103,124,144 y 168 no se presentó diferencias estadísticas significativas.

Tabla 9. Valores promedios de la conductividad eléctrica del suelo, evaluados desde los 19 hasta los 168 días después de la aplicación de los tratamientos, en las plantas de cacao clon EETP801.

Tratamiento	Conductividad eléctrica del suelo (dS/m)							
	19 DDT	**40 DDT**	**62 DDT**	**82 DDT**	**103 DDT**	**124 DDT**	**144 DDT**	**168 DDT**
Plena luz	0,498 a	0,226 a	0,127 a	0,144 a	0,404 a	0,367 a	0,417 a	0,220 a
35 % sombra	0,192 b	0,358 a	0,123 a	0,127 a	0,156 a	0,368 a	0,548 a	0,481 a
80 % sombra	0,227 b	0,550 a	0,181 a	0,173 a	0,199 a	0,166 a	0,498 a	0,392 a

DDT: Días después del tratamiento.
Letras diferentes indican diferencia estadística, según test de Tukey (p<0,05)

7.3. Análisis de Tejidos Foliares

7.3.1. Contenidos nutricionales

En la tabla 10 muestran los resultados de los contenidos nutricionales de las hojas a los 168 DDT. No presentaron diferencia estadística significativa entre tratamientos. (Anexo 5, Tabla 27,28,29,30 y 31).

Tabla 10. Concentración de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en las hojas de las plantas cacao clon EETP801 evaluadas al finalizar el ensayo. No se presentaron diferencias significativas

Tratamiento	Concentración (%)				
	Nitrógeno	**Fósforo**	**Potasio**	**Calcio**	**Magnesio**
Plena luz	2,67 ns	0,15 ns	1,38 ns	1,25 ns	0,32 ns
35 % sombra	2,43 ns	0,16 ns	1,35 ns	1,06 ns	0,31 ns
80 % sombra	2,83 ns	0,15 ns	1,38 ns	1,20 ns	0,31 ns

ns: No significativa

7.4. Correlación Entre Variables

La tabla 11muestra las correlaciones existentes entre las variables: Altura de la planta, ASTT, conductividad eléctrica, longitud del brote, longitud de metámeros, numero de metámeros, tasa de crecimiento absoluta (TCA) del brote, contenidos nutricionales en las hojas: calcio y magnesio, densidad estomática, área foliar de la planta y del brote, índice de área foliar de la planta y del brote, tasa de crecimiento relativo de la planta, clorofila A, clorofila B y clorofila total.

Table 11. Correlaciones entre variables morfológicas y fisiológicas evaluadas en cacao clon EETP801

Variable (1)	Variable (2)	Pearson	P valor	Significancia
Altura de la planta	ASTT	0,73	0,0005	**
Altura de la planta	C. eléctrica	0,64	0,0265	*
L. de brote	L. de metámeros	0,61	0,0074	**
L. de metámeros	TCA del brote	0,61	0,0074	**
L. de metámeros	Calcio en hojas	0,72	0,0281	*
N. de metámeros	TCA del brote	0,69	0,0017	**
ASTT	D. estomática	0,62	0,0302	*
ASTT	C. eléctrica	0,61	0,0352	*
Área foliar	IAF de la planta	1,00	<0,0001	***
Área foliar del brote	IAF brote	0,97	<0,0001	***
TCR de la planta	calcio	0,74	0,0215	*
TCA de la planta	calcio	0,77	0,0144	*
Clorofila A	Clorofila B	0,99	<0,0001	***
Clorofila A	Clorofila total	1,00	<0,0001	***
Clorofila B	Clorofila total	1,00	<0,0001	***
D. estomática	C. eléctrica	0,75	0,0048	**
Calcio en las hojas	Mg en las hojas	0,70	0,0343	*

El análisis de correlaciones se realizó con el coeficiente de Pearson > 0,6 y un nivel de significancia ($p < 0,05$). Las variables que presentaron una fuerte correlación positiva son: Altura de la planta con ASTT ($r = 0,73$; $p < 0,0005$), el área foliar con IAF de la planta ($r = 1,00$; $p < 0,0001$), área foliar del brote con IAF del brote ($r = 0,97$; $p < 0,0001$), clorofila A con clorofila B ($r = 0,99$; $p < 0,0001$), clorofila A con clorofila total ($r = 1,00$; $p < 0,0001$), y clorofila B con clorofila total ($r = 1,00$; $p < 0,0001$).

8. DISCUSIÓN

Las variables evaluadas en la presente investigación como son: altura de la planta, incremento de altura, tasa de crecimiento absoluta, no presentaron diferencias significativas entre tratamientos. Estas variables no presentaron ninguna variación significativa al efectuar los tratamientos, lo que indica que el clon EETP 801 no necesitaría sombra en su etapa inicial en esta zona. Esta observación se contradice a lo mencionado por Arvelo et al., (2017) que observaron que "brindar sombra temporal a las plantas de cacao jóvenes les ayuda a acelerar su crecimiento, contribuye a reducir la evapotranspiración y genera cubertura ante la radiación solar directa". esta discrepancia podría estar dada por los genotipos evaluados y las condiciones climáticas donde se realizó el estudio.

Además este resultado se corrobora con lo mencionado por Tezara et al., (2015) quienes encontraron en clones de cacao ecuatoriano, cultivados a plena exposición solar, redujeron significativamente el AFE (área foliar específica) y Fv/Fm (Eficiencia cuántica máxima o potencial del PSII), mostrando aclimatación morfo anatómica y regulación descendente del aparato fotoquímico, lo que constituye una evidencia de la aclimatación a diferentes condiciones lumínicas. En este contexto al no presentarse un efecto adverso de las plantas sometidas a plena luz se cree que las plantas de cacao experimentaron dicha aclimatación lumínica debido a que la radiación solar es reducida en gran medida por las condiciones climáticas y de relieve de la zona.

La tasa de crecimiento relativa presentó diferencias significativas a los 40 días, donde el tratamiento a plena luz presento la media mayor de 0,0008 cm cm/día^{-1} con respecto a los demás tratamientos 35 % y 85 % de sombra que expresaron valores de 0,0003 y 0,0003 cm cm/día^{-1} respectivamente. En los demás días que se evaluaron no se encontraron diferencias significativas, sin embargo, el Tratamiento a plena luz de manera general presentó los valores más altos. Este resultado se cree que se deban a las condiciones climáticas de la región amazónica (Echegaray-Aveiga et al., 2018), ya que, en la costa ecuatoriana existen similitudes climáticas en cuanto a la densidad de nubes, que no permiten el paso total de la radiación solar (Vuille et al., 2000), y esto origina que las plantas de cacao no necesariamente necesiten sombra en su etapa inicial para crecer rápidamente, así lo afirman Jaimez et al. (2018), que los clones de cacao nacional ecuatoriano sembrados a plena luz, bajo las condiciones climáticas imperantes en la costa ecuatoriana se han encontrado respuestas óptimas de fotosíntesis y rendimiento a altos valores de radiación, sin que

se cause daño alguno al mecanismo de foto protección de la planta, lo que corrobora el crecimiento mayor a plena luz del clon EETP801 en la zona de Zamora Chinchipe, respecto a las plantas sometidas a sombreo del 35 y 80 %.

En cuanto a la longitud de los brotes no se encuentren diferencias significativas entre tratamientos. Este resultado se contradice a lo reportado por Blaser et al. (2017) o Koko et al. (2013) y en contraste con los de Isaac et al. (2007), quienes encontraron un aumento de la biomasa aérea de cacao bajo árboles de sombra individuales, con respecto a los árboles a plena luz.

Por otro lado, la TCA del brote no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, este resultado es contrario a lo reportado por Cardona y Gutiérrez (2003) donde señalan que durante la fase de crecimiento vegetativo, las plantas requieren niveles bajos de radiación solar (entre 700 a 800 μmol m^{-2} s^{-2} de fotones), además se supone que el clon EETP801 podría no necesitar sombra debido a las condiciones climáticas de la zona de Zamora (bajo nivel de radiación solar) (Echegaray-Aveiga et al., 2018), así lo señala en sus observaciones Jaimez et al. (2018) que el alta eficiencia en el uso de agua observado en los clones de cacao Nacional evaluados, en las condiciones climáticas de la costa ecuatoriana, abre la posibilidad de cultivar cacao sin sombra en esta región.

En cuanto a las variables morfológicas ASTT, longitud y numero de metámeros no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Una posible interpretación a este resultado es que no se originó ningún efecto de los tratamientos a plena luz, 35% sombra y 80 % sombra, sobres las plantas de cacao. A demás pudo deberse también a la latencia de la yemas, defoliación o ataque de insectos. Lo que se interpreta que las plantas de cacao tanto en sombra como a plena luz, pueden crecer y desarrollarse en su plena genética.

El área foliar e índice de área foliar de la planta y del brote no presentó diferencia estadística, lo cual indica que no existe efecto de los tratamientos a plena luz, 35 % sombra y 80 % sombra. Este resultado se contradice con lo reportado por Salazar et al. (2018) quienes encontraron que los árboles de cacao sometidos a radiación incidente alta presentaron un área foliar específica baja y que sometidos a sombra se observó lo contrario, además Isaac et al. (2007), menciona que encontraron un aumento de la biomasa aérea de cacao bajo árboles de sombra individuales. Por otro lado, discrepan estos resultados con lo mencionado por Wartenberg et al., (2019) donde encontraron que, en general, los árboles bajo sombra tuvieron un efecto negativo significativo en

el crecimiento de los árboles de cacao, ya que la biomasa aérea del árbol de cacao disminuyó en un promedio de 19% bajo el dosel de sombra en comparación con las áreas abiertas. Además, se corrobora con lo de Salazar et al. (2018) quienes realizaron un estudio en variedades ecuatorianas de cacao clonal y CCN51 sometidos alta luminosidad. Estos clones mostraron incrementos de hasta el 35 % en la tasa fotosintética neta, llegando a 1 000 µmol m^{-2} s^{-1} y, por consiguiente, se registró un aumento en el crecimiento y el rendimiento de las plantas. El área foliar e índice de área foliar de la planta y del brote no se vieron afectados por los tratamientos posiblemente dado por las condiciones climáticas y montañosas imperantes en la zona de estudio.

Además, esta discrepancia podría estar relacionada con diferencias específicas de especies entre los árboles de sombra investigados en el estudio. Además, al no existir diferencias estadísticas significativas queda en duda y se requiere que un futuro se realicen más investigaciones sobre el uso de sombra en el cacao clon EETP801.

Las evaluaciones realizadas con lo que respecta a la clorofila, se encontraron diferencias significativas. El mayor contenido de clorofila A, B y total presentaron las plantas provistas del 80 % de sombra, esta observación es análoga a lo mencionado por Gómez, (2002) encontró que los valores de contenido de clorofila total por unidad de peso para los diferentes tratamientos, encontrándose que para plantas creciendo a 20 %, 40% y 60 % de luz, los valores de clorofila total fueron mayores que en las plantas creciendo a plena exposición. Por otro lado, un estudio realizado por Encalada-Córdova et al. (2016) quienes encontraron que el contenido de clorofila A fue mayor en las plantas de café bajo sombra, en comparación con las expuestas a pleno sol.Así también Salazar et al. (2018) observaron que, en plantas sometidas a radiación incidente alta el contenido de clorofila fue bajo, pero con mayor contenido de carotenoides.

El mayor contenido de clorofila total en las plantas sometidas al sombreo del 80 %, posiblemente se deba a la necesidad de ser más eficiente en cuanto a la captación de la energía lumínica (Medina, 1986). Además, Gómez (2002), señala que la reducción en el contenido de clorofila total a plena exposición (sin sombra) puede ayudar a proteger el aparato fotosintético de la demanda debida al exceso de energía lumínica. Asimismo, Garcia-Plazaola et al. (2003) mencionan que las hojas de las plantas que se desarrollan bajo condiciones de baja iluminación presentan alta proporción de mesófilo esponjoso, lo cual les puede servir para incrementar la dispersión interna y la absorción de la luz, bajo estas condiciones de iluminación.

La importancia de analizar los pigmentos fotosintéticos radica en la relación que tiene el contenido de estos con la radiación fotosintéticamente activa (Bertolde et al., 2012), para la transformación de la energía lumínica a química a diferentes longitudes de onda (P700 y P680) (García et al., 2005), lo cual permite una mayor tasa de asimilación de CO2 (Jaimez et al., 2008). Las hojas pueden llegar a contener hasta 1 g de clorofila m^{-2}, aunque esta concentración es muy variable entre especies y sobre todo depende, entre otros factores, del estado nutricional, la edad o la historia lumínica previa de la planta (Manrique, 2003).

En cuanto a densidad estomática no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, lo que indica que la luz en esta zona no tiene un efecto influyente para generar un aumento en número de estomas, ya que según investigaciones realizadas por Tian et al. (2016) y Muliasari, et al. (2015) mencionan que la densidad estomática es mayor en los tratamientos a pleno sol debido a que la planta en condiciones de alta intensidad de luz, modifica la anatomía de las hojas para mejorar la fijación de CO2 en el proceso de fotosíntesis. A demás la regulación estomática es un proceso clave en la fisiología de las plantas está vinculado intrínsecamente a la fotosíntesis y las relaciones con el agua, proporciona información sobre la capacidad de adaptación, supervivencia y crecimiento de la planta (Craparo et al., 2017). En este contexto se determina que las plantas de cacao no presentaron un estado de estrés al someterse a la plena luz, lo que da a pensar que la luminosidad de la zona de estudio es atenuada por la nubosidad imperante de la amazonia ecuatoriana, abriéndose la posibilidad de cultivar cacao sin sombra.

Por otra parte, el pH del suelo donde se establecieron los cultivos, inicialmente fue de 5,53 y fue cambiándose gradualmente durante toda la evaluación. Este valor de pH se encuentra dentro del rango reportado por Vázquez et al. (2010) y Dostert et al. (2011) quienes observaron que las plantas de cacao toleran un pH de 5,0 a 7,5; Por otro lado, afirma, Bravo et al. (2017) midieron las propiedades de los suelos cultivados de cacao en la región amazónica de Napo y Pastaza encontrando valores entre 5,11 y 5,94. Estos valores están comprendidos en los encontrados en estudio y confirma que los suelos donde se estableció el ensayo son típicos del amazonas.

En cuanto al pH si se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. Los menores valores de pH se encontraron a los 144 y 168 días en el tratamiento provisto del 80 % de sombra, llegando hasta 5,21 y 4,96 respectivamente. Una explicación a este resultado, es que el suelo permaneció por más tiempo húmedo favoreciendo la hidrolisis de elementos sumadas a las

condiciones climáticas imperantes en la zona, tal y como lo menciona Custode y Sourdat, (1986) que el comportamiento de las propiedades químicas de los suelos en la Región Amazónica Ecuatoriana (RAE), están muy marcadas por los procesos de formación y el clima que ejercen un papel importante en el proceso de ferralitización o enriquecimiento de hierro.

Dicha ferralitización favorecida por las condiciones climáticas de la zona (altas precipitaciones), tiende hacia una hidrólisis total de los materiales primarios alterables y de las arcillas complejas de las rocas, por lixiviación de las bases (Ca+2, Mg+2, Na+1, K+1) y del sílice, lo que induce a un predominio de minerales poco alterables y de arcillas simples como el cuarzo, caolinita, halloysita, gibsita y óxidos de hierro, confiriéndoles ciertas características morfológicas y el descenso de los parámetros químicos principalmente el pH (Gardi et al., 2014; Zapata, 2004; Rosas-Patiño et al., 2017). En lo que respecta al tratamiento 0 % de sombra, los valores del pH fueron mayores, lo que se explica que el suelo probablemente tuvo una rápida evaporación del agua, evitándose así una posible infiltración abundante de la misma, ocasionado que no se produzca un lavado intenso de los minerales.

La conductividad eléctrica (CE), mide la concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo, pues a mayor CE, mayor es la concentración de sales, en un suelo conviene que la CE sea baja (Bárbaro et al., 2005). De manera general los valores de CE en nuestro ensayo se mostraron por debajo del 1 dS m^{-1} (entre 0,220 y 0,448) indicando que durante la evaluación del ensayo no se presentaron problemas de sales que pudieran a ver afectado al cultivo. Los valores encontrados en nuestro estudio coinciden con lo reportado por Chávez & Ordóñez, (2003) quienes encontraron un valor promedio de 0,0032 dS m^{-1}, en suelos de la reserva biológica de Limoncocha (Sucumbíos), de la misma manera Morales y Serrano (2019) observaron valores de conductividad eléctrica de 0,25 a 0,65 dS m^{-1}, en suelos Amazónicos del Puyo

En cuanto al contenido nutricional (N, P, K, Ca, Mg) de las hojas, no presento diferencias estadísticas entre tratamientos. Esta observación determina que tanto al efectuarse un sombreo o no, los nutrientes de las hojas no se ven alterados. Este resultado se contradice con lo reportado por Suárez et al., 2018 quienes encontraron un aumento significativo del nitrógeno total de las hojas a una baja radiación incidente media diaria (L_{PAR}). Asimismo con lo reportado por da Silva et al., 2017 encontraron en plantas de cacao sometidas a sombreo, presentaron mayor contenido de nitrógeno, y que este incremento les permitía generar mayor biomasa foliar para mejorar la

eficiencia de captura de fotones. Por otro lado van Vliet et al., (2015) señalaron que el aumento del N estimula la producción de hojas y que esto se traduce en una mayor eficiencia fotosintética debido a la mayor concentración de clorofila y Rubisco en las hojas, por lo que se puede aprovechar mejor la radiación en ausencia de luz.

La variable que mejor se correlación desde el punto de vista agronómico es el ASTT con la altura de la planta, ya que a medida que la planta de cacao incrementa su altura el diámetro del tallo aumenta, esto posibilita una mayor resistencia física de la planta y un mayor ingreso de nutrientes y agua desde el suelo para suplir la demanda de toda la planta (De Almeida y Valle, 2008).

En general, muchos estudios (Arvelo et al., 2017; Blaser et al., 2017; Koko et al. 2013; Isaac et al. 2007) han demostrado que las plantas de cacao exhiben un comportamiento fisiológico y morfológico óptimo en condiciones de sombra, y están en contraste con los resultados encontrados en nuestro estudio, sin embargo, no encontramos diferencias estadísticas significativas en la mayoría de las variables, excepción de la TCA (valor mayor al 0 % se sombra), contenido de clorofila (valor mayor al 80 % de sombra), pH y la conductividad eléctrica es por ello que se genera una interrogante del efecto de la sobra sobre el crecimiento inicial del cacao clon EETP801 en la zona de Zamora Chinchipe. Lo cual se especula que este tipo de clon no necesariamente necesite sombra para su desarrollo inicial ya que debido a las condiciones climáticas de la amazonia, alta nubosidad y relieves montañosos no permiten el paso total de la radiación solar produciéndose un efecto de bloqueo (Echegaray-Aveiga et al., 2018), lo que permitiría a las plantas de cacao clon EETP 801 desarrollarse potencialmente sin necesidad de sombra durante su crecimiento inicial, sin lugar a duda hay que realizar estudios del PAR de la zona en específico y evaluar si las plantas presentan mecanismos de foto protección que eviten la foto inhibición de la plantas para poder así corroborar lo indicado.

Nuestros resultados están de acuerdo con Suárez et al., (2018) donde encontraron que las plantas de cacao exhiben una aclimatación óptima a condiciones de radiación solar relativamente alta y señalan que el rendimiento fisiológico óptimo de las plantas expuestas a radiación solar alta se haya asociado con la alta nubosidad típica de la Amazonía colombiana, una región que muestra un promedio anual de sólo 3-4 horas diarias de radiación. Asimismo, Araujo et al., (2017) encontró resultados similares en la costa atlántica, donde existen condiciones de alta humedad y condiciones nubladas.

9. CONCLUSIONES

- Los niveles de sombra no influyeron de manera significativa sombre las variables altura de la planta, TCR y TCA de la planta y el brote, longitud del brote, longitud y numero de metámeros, área de planta, área del brote y IAF de la planta.
- Debido que no se encontraron diferencias estadísticas significativas en la mayoría de variables morfológicas, se abre la posibilidad de cultivar en su etapa temprana al clon EETP 801 sin la necesidad de emplear sombra o con sistemas agroforestales en la región de Zamora Chinchipe.
- La mayoría de las variables fisiológicas se vieron influenciadas por el factor sombra, así el mayor contenido de clorofila A, B y total se obtuvo en plantas sometidas al tratamiento 80 % sombra, alcanzado una media de 17,37 ug ml^{-1} respecto a los tratamientos a plena luz y 35 % sombra que alcanzaron medias de 5,43 y 5,43 ug ml^{-1} respectivamente.
- En plantas jóvenes de cacao no se encontró efecto del sombreo sobre el número de estomas, sugiriendo una adaptación del clon EETP801 a condiciones de plena luminosidad en la zona de Zamora Chinchipe.
- El pH del suelo se vio influenciado por el tratamiento al 80 % de sombra, presentando un descenso mayor con respecto a los demás tratamientos a los 144 y 168 días de 5,21 y 4,96 respectivamente.

10.RECOMENDACIONES

- Realizar estudios posteriores donde se evalúen las variables fotosintéticas en las hojas como son la luz, CO2, contenido de carotenoides, clorofila (parámetros de fluorescencia) y otros rangos funcionales de las hojas.
- Medir el PAR (Radiación Fotosintéticamente Activa) en la zona de estudio y evaluar el comportamiento del clon EETP801 a largo plazo.
- Evaluar el número de hojas y determinar con que tratamiento se mantiene mayor área foliar
- Seguir con la investigación hasta llegar a la etapa reproductiva, para evaluar las variables de rendimiento.
- Según los resultados obtenidos abre la posibilidad de cultivar el clon EETP801 a plena luz, sin embargo, es necesario realizar más estudios a largo plazo para poder recomendar siembra del cacao sin sombra o bajo sistemas agroforestales más eficientes sin exceso de sombreo.

11.BIBLIOGRAFÍA

Adriazola, J. (2003). Producción del Alimento de los Dioses *Theobroma cacao* L. Tingo María: Universidad Nacional Agraria de la Selva Tingo María.

Almeida, A. A., & Valle, R. (2007). Ecophysiology of the cacao tree. Brazilian Journal of Plant Physiology, 19(4), 425–448.

Almeida, A. F., Gomes, F. P., Araujo, R. P., Santos, R. C., & Valle, R. R. (2013). *Leaf gas exchange in species of the Theobroma genus*. *51*(X), 1–6.

Agudelo-Castañeda, G. A., Cadena-Torres, J., Almanza-Merchán, P. J., & PinzónSandoval, E. H. (2018). Desempeño fisiológico de nueve genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo la sombra de tres especies forestales en Santander, Colombia. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 12(1), 223-232.

Arvelo, M., González, D., Maroto, S., Delgado, T., & Montoya, P. (2017). Manual técnico del cultivo de cacao: Prácticas Latinoamericanas. San José, Costa Rica : *IICA*. 165 p.

ANECACAO. (2017). «ANECACAO: 30 años dejando en alto el nombre del cacao ecuatoriano». Vive Editores. http://www.anecacao.com/uploads/magazine/12-saborarriba-junio-2017.pdf.

ANECACAO. (2019). *Sector Exportador de Cacao*. Asociación Nacional de Exportadores de Caco-Ecuador. http://www.anecacao.com/index.php/es/estadisticas/estadisticas-actuales.html Bárbaro, L. A., Karlanian, M. A., & Mata, D. A. (2005). Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica en los sustratos para plantas. *Instituto de Floricultura CIRN*, 3 (1), 1–15.

Barrientos, A. M., Trejo, C., & López, L. (2003). Índice y densidad estomática foliar en plántulas de tres razas de aguacatero. Revvista Fitotécnia Mexicana, 26(4), 285-290. Obtenido de https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/26-4/10a.pdf

Benthan, G., & Hooker, J. (1862). Genera plantarum ad exemplaria imprimis in herbariis kewensibus servata definita. London: A. Black.

Bertolde, F. Z., Almeida, A. F., Pirovani, C. . P., Gomes, F. . P., Ahnert, D., Baligar, V. C., & Valle, R. R. (2012). Physiological and biochemical responses of Theobroma cacao L. genotypes to flooding. *Revista Photosynthetica*, 50(3), 447–457.

Blaser,W. J. J. O. (2018). Climate-smart sustainable agriculture in low-to-intermediate shade agroforests. Nature Sustainability.

Blaser WJ, Oppong J, Yeboah E, Six J (2017) Los árboles de sombra tienen beneficios limitados para la fertilidad del suelo en los agroforestales de cacao. *Agric Ecosyst Environ* 243: 83–91

Bravo, C., Ramírez, A., Marín, H., Torres, B., Alemán, R., Torres, R., Navarrete, H., & Changoluisa, D. (2017). Factores asociados a la fertilidad del suelo en diferentes usos de la tierra de la Región Amazónica Ecuatoriana. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(11), 1–16.

Craparo, A., Steppe, K., Van Asten, P., Läderach, P., Jassogne, L. y Grab, S. (2017). Application of thermography for monitoring stomatal conductance of Coffea arabica under different shading systems. Science of the Total Environment, Vol. 609, no.1, pp. 755–763, ISNN: 0048-9697.

Cardona, B., & Gutiérrez, M. (2003). Un Acercamiento a la Ecofisiología del Cacao. *Actualidad y Divulgación Científica*, 6 (1), 64–71.

Carr, M. K. V, & Lockwood, G. (2011). The water relations and irrigation requirements of cocoa (*Theobroma cacao* L.): A Review. *Expl Agric*, *47*(4), 653–676.

Chávez, G., & Ordóñez, C. (2003). *Procesos de sorción de plomo en suelos arcillosos de la región amazónica ecuatoriana*. universidad internacional sek

Cimate-data.org. (2020). Clima de Yantzaza. Recuperado en: https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-zamora-chinchipe/yantzaza-25493/. Consultado el: 28 de junio del 2020.

Custode. E y Sourdat M. (1986). Paisajes y suelos de la Amazonía ecuatoriana: entre la conservación y la explotación. *Revista del Banco Central del Ecuador 24*: 325-339

da Silva, M., de Almeida, A. F., Dalmolin, A., Ahnert, D., & Baligar, V. C. (2017). Influence of low light intensity and soil flooding on cacao physiology. *Scientia Horticulturae*, *217*, 243–257.

De Almeida, A. A., & Valle, R. . (2010). Cacao: ecophysiology of growth and production. : *: Ecophysiology of Tropical Tree Crops*, 578.

Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M., & Robledo, C. InfoStat versión 2018. Cenro de Transferencia InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdova. Argentina.

Dostert, N., Roque, J., Cano, A., Torre, M., & Weigend, M. (2011). Hoja botánica: Cacao. Primera edición. Lima, Perú: *Giacomotti Comunicación Gráfica S.A.C.* 19 p.

Duarte, D., Gutiérrez, E., Báez, N., de Almeida, G., Pereira, M., Bettio G., y Belmonte, H. (2019). Poda y manejo de luz en el cultivo de cacao. Colombia: FEDECACAO.

Echegaray-Aveiga, R. C., Masabanda, M., Rodriguez, F., Toulkeridis, T., Mato, F., and Alegria, A. (2018). *Solar Energy Potential in Ecuador*. Submitted

Espinosa, J.; Mite, F.; Cedeño, S.; Barriga, S.; & Andino, J. 2006. GIS-based site-specific management of cocoa. Better Crops, 90(1), 36-39.

ESPAE, & ESPOL. (2016). Estudios industriales y orientación estratégica para la toma de decisiones Industria del cacao. *Escuela Politécnica Del Litoral*, 42.

FAOSTAT. (2020). Producción/rendimiento de cacao en Grano en el mundo 2019. Recuperado en: http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize. Consultado el 31 de mayo del 2021.

FAO. (2016). Liberación de clones de cacao de alto rendimiento EETP 800 y EETP 801. Recuperado en: http://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/449707/. Consultado el: 29 de mayo del 2020.

García, X., E. García, Q. Rascón, L. Herrera, and G.A. Aguado. (2005). Chlorophyll accumulation is enhanced by osmotic stress in graminaceous chlorophyllic cells.J. *Plant Physiol.* 162:650-667.

Garcia-Plazaola, J.I., Hernández, A. y Becerril, J.M. (2003). Antioxidant and pigment composition duringautumnal leaf senescence in woody deciduous species differing in their ecological traits. Plant Biol 5:557-566.

Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça Santos Brefin, M.L., Montanarella, L., Muñiz Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez, M.I., Vargas, R. (eds), 2014. *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe, Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995 Luxembourg*, 176

GADPZCH. (2019). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Zamora Chinchipe. Recuperado de: https://zamora-chinchipe.gob.ec/. Consultado el: 31 de mayo del 2021.

GADPZCH. (2021). Noticias de la provincia de Zamora Chinchipe. Recuperado en: https://zamora-chinchipe.gob.ec/. Consultado el: 31 de mayo del 2021.

Gómez, A. (2002). Efecto de diferentes intensidades de luz sobre el intercambio gaseoso y desarrollo del cacao criollo Guasare. Postgrado de ecología Tropical.San Juan, Venezuela: Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes, 113

Grossi Gallegos, H. (2004). Distribución espacial de la radiación fotosintéticamente activa en Argentina. Meteorológica, 29(1-2), 27-36.

Isaac M, Ulzen-Appiah F, Timmer VR, Quashie-Sam SJ (2007a) Crecimiento temprano y respuesta nutricional a la competencia de recursos en sistemas de cultivos intercalados de sombra de cacao. *Plant Soil 298*: 243-254.

INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias). (2016). Informe Técnico Anual. Estación Experimental Tropical Pichilingue, Programa nacional de Cacao y Café.

INIAP. (2010). Cacao Orgánico: Guía para productores ecuatorianos. (G. Enríquez, Ed.) Quito, Ecuador. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=FZozAQAAMAAJ&pg=PA58&dq=bot%C3%A1nica+del+cacao&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiQpJKkrNPlAhUoxVkKHbKNAnsQ6AEIPjAD#v=on

INIAP. (2018). Nuevos clones de cacao fino y de aroma con alto rendimiento. Obtenido de Boletines INIAP: file:///C:/Users/Usuario%20iTC/Desktop/b567219524c07afc5fb51fff8617679b79fc.pdf

INEC. (2020). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2020. Recuperado en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/. Consultado el: 31de mayo del 2021

INIAP. (2017). Theobroma cacao L. Quito - Ecuador: INIAP Instituto Nacional Autónomo de Invesigaciones Agropecuarias.

Jaimez, R. E., Amores Puyutaxi, F., Vasco, A., Gastón, L. O. O. R., Tarqui, O., Quijano, G., & Tezara, W. (2018). Photosynthetic response to low and high light of cacao growing without shade in an area of low evaporative demand. *Acta Biológica Colombiana*, 23(1), 95-103.

Jaimez, R., Tezara, W., Coronel, I., & Urich, R. (2008). *Ecofisiología del cacao (Theobroma cacao): su manejo en el sistema agroforestal. Sugerencias para su mejoramiento en Venezuela*. *52*(2), 253–258.

Koko, K. L., Snoeck, D., Lekadou, T. T., Assiri, A. A., (2013). Cacao-fruit tree intercropping effects on cocoa yield, plant vigour and light interception in Cte d'Ivoire. ResearchGate, 1-10.

Johnson, J., Bonilla, J., & Aguero, L. (2008). Manual De Manejo y Produccion Del Cacaotero. León, Nicaragua. 40 p.Koko LK, Snoeck D, Lekadou TT, Assiri AA (2013) Efectos de los cultivos intercalados de árboles frutales de cacao en el rendimiento del cacao, el vigor de las plantas y la intercepción de la luz en Côte d'Ivoire. *Agrofor Syst* 87: 1043–1052

Linneo, C. (1737). Hortus Cliffortianus. Obtenido de http://www.botanicus.org/title/b11957918

Loor, R., Sotomayor, I., Jiménez, J., Tarqui, O., Rodríguez, G., Casanova, T., y Quijano, G. (2018). «INIAP-EETP-800 e INIAP-EETP-801 nuevos clones de cacao fino y de aroma con alto rendimiento». INIAP (Estación Experimental Pichilingue). Programa Nacional de Cacao y Café, 2018. https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5240.

López, P. (2011). Programa estratégico para el desarrollo rural sustentable de la Región Sur-Sureste de México: Trópico Húmedo 2011. Huimanguillo. Tabasco: Centro de Investigación Regional-Golfo Centro.

Mackinney, G. (1941). «Absorption of light by chlorophyll solutions», 315-22.

MAGAP. (2012). Buenas prácticas agrícolas para cacao. Guía de Buenas Prácticas Agrícolas para Cacao: Resolución Técnica No. 183. Ecuador, pág. 37. Obtenido de Guía de buenas prácticas agrícolas para cacao: Resolución Técnica No. 183. Ecuador.

MAR. (2018). Análisis de la cadena productiva del cacao. *Ministerio de agricultura y riego*, 85.

MAG, 2018; Rendimientos de cacao almendra seca (Theobroma cacao) en el Ecuador 2017, Ministerio de Agricultura, Quito – Ecuador. Recuperado en: http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/estudios/rendimientos/cacao/rendimiento _cacao_2017.pdf.

Mendoza, I. (2009). Efectos del árbol de sombra en un sistema agroforestal de cacao de 8 años: diágnsotico de biomasa y nutrientes de *Theobroma cacao* por análisis vectorial. *Springer*, 6.

Medina, D. la cruz, Vargas, M., Coronel, A., & FAO. (2009). CACAO Operaciones Poscosecha. *INPhO-Compendio de Poscosecha*, 78.

Medina, E. 1986. Aspectos eco fisiológicos de plantas de bosques nublados tropicales: el bosque nublado de Rancho Grande. En: Huber, O. (Ed.) La selva nublada de Rancho Grande. Parque Nacional Henri Pittier. Fondo Editorial. *Acta Científica Venezolana*, 189-196.

Morales, J. F., & Serrano, V. C. (2019). Cuantificación del servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono en el suelo de los ecosistemas bosque siempre-verde de tierras bajas, bosque siempre-verde de pie montano y bosque siempre-verde andino montano bajo de la Provincia de Napo. Tesis Ingeniero Ambiental. Quito, Ecuador. Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovabes. Universidad Politécnica Salesiana de Quito. 176 p.

Muliasari, A., Wachjar, A. y Supijatno. (2015). The Growth of Arabica Coffee (Coffea arabica L.) Seedling on Combination of Inorganic-organic Fertilizers and Shading Level. Asian Journal of Applied Sciences, Vol. 3, no. 6, pp. 739-746, ISSN: 2321–0893.

Niemenak, N., Cilas, C., Rahsius, C., Bleiholder, H., & Meier, U. L. (2009). Phenological growth stages of cacao plants (Theobroma sp.): codification and description according to the BBCH scale. *Annals of Applied Biology*, 13-23.

Quiroz, J. (2010). «Sistema de sombra de cacao con maderables». INIAP- Estación Experimental Litoral Sur.

Pangui, G. (2016). GAD Pangui. Obtenido de GAD Pangui: http://oer2go.org:81/wikipedia_es_all_2016-02/A/Cant%C3%B3n_El_Pangui.html.

Raffo, M. D., & Iglesias, N. (2004). Efecto de la intercepción y distribución de la radiación fotosintéticamente activa en manzanos cv. Fuji, bajo cuatro sistemas de conducción en alta densidad. RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias, 33(2).

Reol Manrique, E. (2003). Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz para la fotosíntesis. *Ecosistemas: Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, *XII*, 1–11.

Rodés, R., y Collazo, M. (2006). «Manual de prácticas de Fotosíntesis». Universidad Nacional Autónoma de México.

Rosas-Patiño, G., Puentes-Páramo, Y. J., & Menjivar-Flores, J. C. (2017). Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. *Corpoica Ciencia y Tecnologia Agropecuaria*, 18(3), 529–54

Sáenz Cardona, B., & Cabezas Gutiérrez, M. (2007). Un acercamiento a la ecofisiologia del cacao. *Innovación y Cambio Tecnológico*, *6*(6), 44–50.

Sánchez, M. Á., León, D. G., Arce, S. M., López, T. D., & Rodríguez, P. M. (2017). Manual Técnico para el Cultivo de Cacao Buenas Prácticas para América Latina . *IICA*, 143.

Suárez Salazar, J. C., Melgarejo, L. M., Casanoves, F., Di Rienzo, J., Da Matta, F. M., & Armas, C. (2018). Limitaciones de la fotosíntesis en hojas de cacao bajo diferentes sistemas agroforestales en la Amazonía colombiana. *PLOS ONE*, *13*(11).

Tezara, W., De Almeida, J., Valencia, E., Cortes, J. L., & Bolaños, M. J. (2015). Photochemical activity of elites clones of ecuatorian cacao (*Theobroma cacao* L.) at north of esmeraldas province. *Revista*

Científica Interdisciplinaria Investigación y Saberes, *IV*, 37–51.

Tian, M., Yu, G., He, N. y Hou, J. (2016). Leaf morphological and anatomical traits from tropical to temperate coniferous forests: Mechanisms and influencing factors. Scientific Reports, Vol. 6, no.19703, pp. 1-10, ISSN: 2045-2322.

USDA. (United States Department of Agriculture, Estados Unidos). (1975). "Soil Taxonomy", Claves para la Taxonomía de Suelos" Décima EdiciónValarezo, C. 2004. Características, distribución, clasificación y capacidad de uso de los suelos en la Región Amazónica ecuatoriana (RAE). Universidad Nacional de Loja, Programa de Modernización de los Servicios Agropecuarios, Loja, Ecuador. 201 p.

van Vliet, J. A., & Giller, K. E. (2017). Mineral nutrition of cocoa: a review. In Advances in Agronomy Academic Press, vol. 141, 185-270.

Vázquez B., Cakmak D., Saljnikov E., Mrvic V., Jakovljecic M., Stajkovic O. y Bogdanovic, D. (2010). Optimization of macroelement contents in raspberry leaves by liming in an extremely acid soil. *Spanish Journal of Agricultural Research*, vol. 1, no. 9, 329-337.

Vuille MB, Raymond S, Keimig F.(2000).Climate variability in the Andes of Ecuador and its relation to tropical Pacific and Atlantic sea surface temperature anomalies. J Clim.;1 (14):2520-2535.

Van Vliet, J. A. Van, Slingerland, M., Guiller, K.(2015).Plant Production Systems Group, & Wageningen University. . Nutrición Mineral del Cacao. *Revision*, 1–57.

Wartenberg, A. C., Blaser, W. J., Roshetko, J. M., Van Noordwijk, M., & Six, J. (2019). Soil fertility and *Theobroma cacao* growth and productivity under commonly intercropped shade-tree species in Sulawesi, Indonesia. *Planta y Suelo 298*, 87–104.

Zapata, R. (2004). Quimica de la acidez del suelo. Medeyin, Colombia. Umiversidad nacional de Colombia, 10

Zarrillo, N. G. (2018). El uso y la domesticación de *Theobroma cacao* durante el Holoceno medio en la parte superior del Amazonas. Nature ecology & evolution, 6

12.ANEXOS

Anexo 1. Cálculo de dosis de corrección del suelo

En una hectárea a una densidad de siembra de 3,5 x 4 m se tiene 714 plantas de cacao. De acuerdo a los requerimientos nutricionales y al análisis de suelo, se debe hacer corrección de nutrientes de S Y B.

a.) Cálculo de elementos en déficit:

Elemento	Dato del Análisis (ppm).	Valor óptimo (ppm)	Déficit (ppm)
Boro	5,80	≤ 10	4,20
Azufre	0,10	0,5	0,4

Dosis de corrección de Boro

Datos:

Cant. elemento disponible: 0,10

Óptimo: 0,5 ppm

Fórmulas

Déficit = Óptimo – Disponible

$$DC = \frac{Déficit * Prof.radicular * densidad\ aparente * 10}{Eficiencia\ de\ elemento}$$

<u>Desarrollo</u>

Déficit:

Déficit = 0,5 ppm – 1 ppm

Déficit = 0,4 ppm

Dosis de corrección:

$$DC = \frac{0{,}4\ ppm * 0{,}20 * 1{,}3 * 10}{0{,}26}$$

$$Dc = \frac{4kg}{ha}$$

42 unidades de S 714 plantas

X 1 Planta

= 0,0056 Kg = 5,60 g/planta

Dosis de corrección del Azufre

Datos:

Cant. elemento disponible: 5,80 ppm

Óptimo: ≤ 10 ppm

Fórmulas:

Déficit = Óptimo – Disponible

$$DC = \frac{Déficit * Prof.radicular * densidad\ aparente * 10}{Eficiencia\ de\ elemento}$$

Desarrollo

Déficit:

Déficit = 10 ppm – 5,8 ppm

Déficit = 4,2 ppm

Dosis de corrección:

$$DC = \frac{4{,}2\ ppm * 0{,}20 * 1{,}3 * 10}{0{,}26}$$

$$DC = \frac{42\ kG}{ha}$$

42 unidades de S 714 plantas

X 1 planta

= 0,0588 Kg = 58,8 g/planta

Anexo 2. Evidencias fotográficas

Establecimiento del sombreo (Factor sombra)

Figura 19. Cacao clon EETP 801

Figura 20. Ahoyado para asegurar la estructura de sombreo

Figura 21. Fijación de los laterales de soporte de la malla de saran

Figura 22. Estructura de sombreo

.

Anexo 3. Análisis de suelo

RIN. 0022. 29/01/20

ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA"
LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS
Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340
Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO
Nombre : Paola Daniela Godoy
Dirección : Loja
Ciudad :
Teléfono : 0991255042
Fax :

DATOS DE LA PROPIEDAD
Nombre : Univercidad Tecnica De Loja
Provincia : Loja
Cantón :
Parroquia :
Ubicación :

DATOS DEL LOTE
Cultivo Actual : Cacao
Cultivo Anterior : Descanso
Fertilización Ant. :
Superficie :
Identificación : Muestra De Suelo

PARA USO DEL LABORATORIO
N° Reporte : 48.475
N° Muestra Lab. : 20-0498
Fecha de Muestreo : 10/01/2020
Fecha de Ingreso : 17/01/2020
Fecha de Salida : 29/01/2020

Nutriente	Valor	Unidad	INTERPRETACION
N	73.00	ppm	BAJO / MEDIO / ALTO
P	16.00	ppm	
S	5.80	ppm	
K	0.35	meq/100 ml	
Ca	12.40	meq/100 ml	
Mg	2.20	meq/100 ml	
Zn	4.10	ppm	BAJO / MEDIO / ALTO
Cu	1.40	ppm	
Fe	254.00	ppm	
Mn	30.50	ppm	
B	0.10	ppm	BAJO / MEDIO / ALTO / TOXICO
pH	5.53		0 / 5.5 / 6.5 / 7.0 / 7.5 / 8.0 — Acido / Lig. Acd. / Prácticamente Neutro / Lig. Alc. / Alcalino
Acidez Int. (Al+H)		meq/100 ml	ADECUADO / LIGERAMENTE TOXICO / TOXICO
Al		meq/100 ml	
Na		meq/100 ml	
CE		mmhos/cm	No Salino / Lig. Salino / Salino / Muy Salino
MO	11.40	%	BAJO / MEDIO / ALTO

Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	(meq/100ml) Σ Bases		ppm Cl	(%) Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural
5,6	6,3	41,7	14,9			41	30	29	Franco-Arcilloso

RESPONSABLE LABORATORIO

LABORATORISTA

ESTACIÓN EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA"
DEPARTAMENTO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS Y AGUAS
Panamericana sur Km. 1. Apartado 17-01-340
Teléfono: 3007284. Email: laboratorio.dmsa@iniap.gob.ec
Mejía -Ecuador

REPORTE DE ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO

DATOS DEL PROPIETARIO
Nombre : Paola Daniela Godoy
Dirección : Loja
Ciudad :
Teléfono : 0991255042
Fax :

DATOS DE LA PROPIEDAD
Nombre : Universidad Estatal De Loja
Provincia : Loja
Cantón :
Parroquia :
Ubicación :

PARA USO DEL LABORATORIO
No. Muestra Lab. : 20-0498
Fecha de Muestreo : 10/01/2020
Fecha de Ingreso : 17/01/2020
Fecha de Salida : 28/01/2020

No. Muestra Lab.	Identificación de la muestras	meq/100 g suelo					%	meq/100 g suelo
		K	Ca	Mg	Na	Suma de bases	Saturación de bases	CIC
20-0498	Muestra De Suelo	0.70	12.7	3.12	0.25	16.8	98.8	17.0

Unidades	Método
meq/100 g suelo : miliequivalentes/100 gramos de suelo. % : porcentaje	Cloruro de Bario

RESPONSABLE DEL LABORATORIO

DPTO. MANEJO DE SUELOS Y AGUAS
ESTACIÓN EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
Panamericana Sur Km. 1
Quito - Ecuador
Telefax 2694-694

LABORATORISTA

Anexo 4. Correlación de variables fisiológicas y morfológicas del cacao clon EETP 801

Variable (1)	Variable (2)	n	Pearson	P valor
Altura de la planta	ASTT	18	0,73	0,0005
Altura de la planta	C. eléctrica	18	0,64	0,0265
Altura de la planta	D. estomática	12	0,59	0,0449
L. de brote	L. de metámeros	18	0,61	0,0074
L. de brote	TCA planta	18	0,51	0,0321
L. de brote	C. relativo planta	18	0,53	0,0229
L. de metámeros	TCA del brote	18	0,61	0,0074
L. de metámeros	Calcio en hojas	18	0,72	0,0281
L. de metámeros	C. relativo planta	18	0,53	0,0228
L. de metámeros	Nitrógeno	9	-0,81	0,0076
N. de metámeros	TCA del brote	18	0,69	0,0017
ASTT	D. estomática	12	0,62	0,0302
ASTT	C. eléctrica	12	0,61	0,0352
Área foliar	IAF de la planta	18	1,00	<0,0001
IAF	TCR brote	18	0,54	0,0216
Área foliar del brote	IAF brote	18	0,97	<0,0001
TCR de la planta	Calcio	9	0,74	0,0215
TCA de la planta	Calcio	9	0,77	0,0144
TCA brote	C. eléctrica	12	-0,60	0,0393
TCR brote	TCA brote	18	0,50	0,0359
Clorofila A	Clorofila B	12	0,99	<0,0001
Clorofila A	Clorofila total	12	1,00	<0,0001
Clorofila B	Clorofila total	12	1,00	<0,0001
Clorofila total	pH	12	-0,69	0,0135
D. estomática	C. eléctrica	18	0,75	0,0048
Calcio en las hojas	Mg en las hojas	18	0,70	0,0343

Anexo 5. Análisis de varianza realizados

Tabla 12. Resultados del ANAVA de la variable Crecimiento Relativo de la planta.

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
CR	18	0,07	0,00	36,57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	31,81	2	15,90	0,55	0,5888
Tratamiento	31,81	2	15,90	0,55	0,5888
Error	434,59	15	28,97		
Total	466,40	17			

Tabla 13. Resultados del ANAVA de la variable Tasa de Crecimiento Absoluto de la altura de la planta.

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
TCA	18	0,09	0,00	36,22

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,01	2	3,0E-03	0,75	0,4878
Tratamiento	0,01	2	3,0E-03	0,75	0,4878
Error	0,06	15	4,0E-03		
Total	0,07	17			

Tabla 14. Resultados del ANAVA de la variable Crecimiento Relativo del brote

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
CR	18	0,06	0,00	56,67

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	25,18	2	12,59	0,47	0,6350
Tratamiento	25,18	2	12,59	0,47	0,6350
Error	403,35	15	26,89		
Total	428,53	17			

Tabla 15. Resultados del ANAVA de la variable Tasa de Crecimiento Relativo del brote

Análisis de la varianza

Variable	N	R²	R² Aj	CV
TCR	18	0,05	0,00	170,06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,01	2	2,8E-03	0,41	0,6694
Tratamiento	0,01	2	2,8E-03	0,41	0,6694
Error	0,10	15	0,01		
Total	0,11	17			

Tabla 16. Resultados del ANAVA de la variable Tasa de crecimiento absoluta de la longitud del brote.

Análisis de la varianza

Variable	N	R²	R² Aj	CV
TCA	18	0,01	0,00	55,80

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,3E-04	2	1,7E-04	0,04	0,9617
Tratamiento	3,3E-04	2	1,7E-04	0,04	0,9617
Error	0,06	15	4,2E-03		
Total	0,06	17			

Tabla 17. Resultados del ANAVA de la variable Crecimiento Relativo del Área de la Sección Transversal del Tallo.

Variable	N	R²	R² Aj	CV
C.R ASTT	18	0,08	0,00	23,43

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,47	2	0,24	0,63	0,5440
Tratamiento	0,47	2	0,24	0,63	0,5440
Error	5,58	15	0,37		
Total	6,05	17			

Tabla 18. Resultados del ANAVA de la variable Longitud de Metámeros.

Long. Metam

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Long. Metam	18	0,19	0,08	23,82

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,72	2	0,36	1,73	0,2117
Tratamiento	0,72	2	0,36	1,73	0,2117
Error	3,13	15	0,21		
Total	3,84	17			

Tabla 19. Resultados del ANAVA de la variable Numero de Metámeros.

Num. Metam

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Num. Metam	18	0,06	0,00	26,67

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	11,44	2	5,72	0,46	0,6422
Tratamiento	11,44	2	5,72	0,46	0,6422
Error	188,17	15	12,54		
Total	199,61	17			

Tabla 20. Resultados del ANAVA de la variable Área foliar de la planta.

AF

Variable	N	R²	R² Aj	CV
AF	18	2,0E-03	0,00	74,66

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1267683,84	2	633841,92	0,02	0,9849
Tratamiento	1267683,84	2	633841,92	0,02	0,9849
Error	622790162,10	15	41519344,14		
Total	624057845,94	17			

Tabla 21. Resultados del ANAVA de la variable Índice de Área Foliar de la planta.

IAF

Variable	N	R²	R² Aj	CV
IAF	18	2,2E-03	0,00	74,85

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6,9E-05	2	3,4E-05	0,02	0,9839
Tratamiento	6,9E-05	2	3,4E-05	0,02	0,9839
Error	0,03	15	2,1E-03		
Total	0,03	17			

Tabla 22. Resultados del ANAVA de la variable Área Foliar del Brote

AFB

Variable	N	R²	R² Aj	CV
AFB	18	0,02	0,00	58,59

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	121293,34	2	60646,67	0,19	0,8291
Tratamiento	121293,34	2	60646,67	0,19	0,8291
Error	4793001,38	15	319533,43		
Total	4914294,73	17			

Tabla 23. Resultados del ANAVA de la variable Índice de Área Foliar del Brote.

IAFB

Variable	N	R²	R² Aj	CV
IAFB	18	0,01	0,00	61,11

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,8E-06	2	1,4E-06	0,08	0,9261
Tratamiento	2,8E-06	2	1,4E-06	0,08	0,9261
Error	2,7E-04	15	1,8E-05		
Total	2,7E-04	17			

Tabla 24. Resultados del ANAVA de la variable Clorofila a.

Clorofila a

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Clorofila a	12	0,86	0,83	46,09

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	294,66	2	147,33	28,38	0,0001
Tratamiento	294,66	2	147,33	28,38	0,0001
Error	46,72	9	5,19		
Total	341,38	11			

Tabla 25. Resultados del ANAVA de la variable Clorofila b.

Clorofila b

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Clorofila b	12	0,86	0,83	44,37

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	57,91	2	28,95	27,30	0,0002
Tratamiento	57,91	2	28,95	27,30	0,0002
Error	9,54	9	1,06		
Total	67,45	11			

Tabla 26. Resultados del ANAVA de la variable Clorofila total.

Clorofila total

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Clorofila total	12	0,86	0,83	45,26

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	613,29	2	306,64	28,38	0,0001
Tratamiento	613,29	2	306,64	28,38	0,0001
Error	97,23	9	10,80		
Total	710,52	11			

Tabla 27. Resultados del ANAVA de la variable Nitrógeno.

Nitrógeno

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Nitrógeno	9	0,28	0,04	12,16

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,24	2	0,12	1,17	0,3718
Tratamiento	0,24	2	0,12	1,17	0,3718
Error	0,62	6	0,10		
Total	0,86	8			

Tabla 28. Resultados del ANAVA de la variable Fósforo.

Fósforo

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Fósforo	9	0,15	0,00	10,95

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,9E-04	2	1,4E-04	0,52	0,6191
Tratamiento	2,9E-04	2	1,4E-04	0,52	0,6191
Error	1,7E-03	6	2,8E-04		
Total	2,0E-03	8			

Tabla 29. Resultados del ANAVA de la variable Potasio

Potasio

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Potasio	9	4,0E-03	0,00	19,84

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,8E-03	2	9,0E-04	0,01	0,9880
Tratamiento	1,8E-03	2	9,0E-04	0,01	0,9880
Error	0,45	6	0,07		
Total	0,45	8			

Tabla 30. Resultados del ANAVA de la variable Calcio

Calcio

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Calcio	9	0,17	0,00	18,58

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,06	2	0,03	0,59	0,5812
Tratamiento	0,06	2	0,03	0,59	0,5812
Error	0,28	6	0,05		
Total	0,34	8			

Tabla 31. Resultados del ANAVA de la variable Magnesio

Magnesio

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Magnesio	9	0,01	0,00	13,84

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,6E-04	2	7,8E-05	0,04	0,9595
Tratamiento	1,6E-04	2	7,8E-05	0,04	0,9595
Error	0,01	6	1,9E-03		
Total	0,01	8			