



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE
RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**“INFLUENCIA DE DOS NIVELES DE NUTRICIÓN Y
DOS NIVELES DE SOMBRA, SOBRE PARÁMETROS
FISIOLÓGICOS Y DE CRECIMIENTO EN LA ETAPA
VEGETATIVA DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) CLON
EETP-801, EN ZAMORA CHINCHIPE”**

**TESIS DE GRADO PREVIA A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA AGRÓNOMA**

Autora:

Paola Daniela Godoy Betancourt

Directora:

Dra. Marlene Lorena Molina Müller *PhD.*

**LOJA – ECUADOR
2021**

CERTIFICACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS

Dra. Marlene Lorena Molina Müller *PhD.*

DIRECTORA DE TESIS

CERTIFICA:

Que luego de haber dirigido y revisado el trabajo de tesis titulado: “INFLUENCIA DE DOS NIVELES DE NUTRICIÓN Y DOS NIVELES DE SOMBRA, SOBRE PARÁMETROS FISIOLÓGICOS Y DE CRECIMIENTO EN LA ETAPA VEGETATIVA DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) CLON EETP-801, EN ZAMORA CHINCHIPE”, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, de la egresada: Paola Daniela Godoy Betancourt, se autoriza su presentación debido a que el mismo se sujeta a las normas y reglamentos generales de graduación exigidos por la Carrera de Ingeniería Agronómica.

En mi calidad de Directora de Tesis, certifico que la investigación realizada ha sido trabajo propio del egresado.

Loja, 04 de febrero de 2021



Dra. Marlene Lorena Molina Müller *PhD.*

DIRECTORA DE TEIS

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Una vez cumplida la reunión del tribunal de calificación del trabajo final de tesis titulado: **“Influencia de dos niveles de nutrición y dos niveles de sombra, sobre parámetros fisiológicos y de crecimiento en la etapa vegetativa de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP-801, en Zamora Chinchipe”** de la autoría de la señorita Paola Daniela Godoy Betancourt, egresada de la carrera de Ingeniería Agronómica, misma que ha incorporado todas las sugerencias efectuadas por el tribunal en el documento final, por tal motivo se procede a la aprobación y calificación del trabajo de Tesis de Grado.

En tal virtud, nos permitimos certificar que, en el trabajo final consolidado de investigación está acorde con los requerimientos de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, por tal motivo, se autoriza continuar con los trámites pertinentes.

Loja, 26 de abril del 2021



PhD. Max Enrique Encalada Córdova
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

A QR code is positioned to the left of a digital signature block. The signature block contains the text: "Firmado digitalmente por: TULIO FERNANDO SOLANO CASTILLO Fecha: 2021.04.26 17:17:23 -05'00'".

TULIO FERNANDO SOLANO CASTILLO

PhD. Tulio Fernando Solano Castillo
VOCAL

A QR code is positioned to the left of a digital signature block. The signature block contains the text: "Firmado digitalmente por: JOSE ALFREDO RAMIREZ ROMERO".

JOSE ALFREDO RAMIREZ ROMERO

Mg. Sc. José Alfredo Ramírez Romero
VOCAL

AUTORÍA

Yo, Paola Daniela Godoy Betancourt, 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.

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

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**PAOLA DANIELA
GODOY
BETANCOURT**

Autor: Paola Daniela Godoy Betancourt

Cédula: 1105241853

Fecha: 04 de mayo de 2021

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, Paola Daniela Godoy Betancourt, declaro ser el autor de la tesis titulada “**Influencia de dos niveles de nutrición, y dos niveles de sombra, sobre parámetros fisiológicos y de crecimiento en la etapa vegetativa de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP-801, en Zamora Chinchipe**”, 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 al 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 cuatro días del mes de mayo del dos mil veinte y uno, firma el autor:

Firma:



Autora: Paola Daniela Godoy Betancourt

Número de cédula: 1105241853

Dirección: parroquia Purunuma, cantón Gonzanamá, provincia de Loja.

Correo electrónico: paola_godoy1996@hotmail.com

Celular: 0991255042

DATOS COMPLEMENTARIOS

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

Tribunal de grado:

Max Enrique Encalada Córdova *PhD*.

Presidente

Tulio Fernando Solano Castillo *PhD*.

Vocal

José Alfredo Ramírez Romero Mg, Sc.

Vocal

AGRADECIMIENTO

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

A mis padres María Melania Betancourt y Sebastián Godoy, y hermanos Gladys, Mercedes, Liz y José, por ser quienes me impulsaron a cumplir esta gran meta, con sus consejos, apoyo incondicional, amor y motivación. De igual manera a mi tío y sobrinos por brindarme su compañía y 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 directora de tesis la Dra. Marlene Lorena Molina Müller *PhD.*, 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.

A los técnicos Ing. Tania Sarango, técnica del Laboratorio de Investigación de Análisis Químico de la UNL y a la Ing. Jamel Ruíz, técnica del Laboratorio de Sanidad Vegetal “Fitopatología”, por la predisposición y gentileza que mostraron para apoyarme durante la fase de laboratorio. Así mismo agradezco al Ing. Diego Loaiza Director encargado de la estación experimental “El Pادمي”, al grupo de docentes y compañeros tesisistas 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.

De la misma manera a la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENECYT), institución pública que financió parte de mis estudios Universitarios.

DEDICATORIA

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

A mis hermanos Gladys, Mercedes, Liz y José, y a mi tío Rosalino Godoy a quienes quiero y aprecio mucho y son mi inspiración para lograr mis ideales y llegar a culminar mi carrera profesional.

A mis sobrinos Jandry y Christopher, que han sido mi motivación para lograr tan anhelado propósito.

A Dios por ser mi guía espiritual, y darme la fortaleza tan abnegada en los tiempos difíciles.

Paola Godoy.

ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS	II
CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	III
AUTORÍA.....	IV
CARTA DE AUTORIZACIÓN.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
DEDICATORIA	VII
ÍNDICE GENERAL	VII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
TÍTULO.....	XIV
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos.....	3
1.1.1. Objetivo general.....	3
1.1.2. Objetivos específicos.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)	4
2.2. Fenología del cacao	5
2.3. Grupos genéticos	5
2.3.1. Criollo	6
2.3.2. Forastero.....	6
2.3.3. Trinitario.....	7
2.3.4. Cacao Nacional de Ecuador	7
2.3.5. Clones.....	7
2.4. Condiciones edafoclimáticas para el cultivo de cacao.....	8
2.4.1. Altitud	8
2.4.2. Temperatura	9
2.4.3. Precipitación.....	9
2.4.4. Luminosidad.....	9
2.4.5. Suelo.....	10
2.4.6. Humedad relativa	10
2.5. Nutrición mineral del cacao.....	10
2.5.1. Nitrógeno.....	11

2.5.2.	Potasio	11
2.5.3.	Fósforo	12
2.5.4.	Calcio	12
2.5.5.	Magnesio	12
2.1.	Sombreo en el cultivo de cacao	12
2.2.	Sombra y nutrición en el cultivo de cacao	14
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1.	Ubicación del área de estudio	15
3.2.	Manejo del experimento	16
3.2.1.	Material vegetal.....	16
3.2.2.	Análisis de Suelo.....	16
3.3.	Diseño Experimental.....	17
3.3.1.	Aplicación de los tratamientos	17
3.3.2.	Delineamiento experimental.....	20
3.4.	Variables	21
3.5.	Análisis estadístico	25
4.	RESULTADOS	26
4.1.	Altura de la planta.....	26
4.2.	Análisis de pH del suelo	27
4.3.	Conductividad eléctrica del suelo	28
4.4.	Longitud del brote.....	29
4.4.1.	Tasa de crecimiento absoluta del brote (TCA).....	31
4.4.2.	Tasa de crecimiento relativa del brote (TCR)	31
4.5.	Área foliar del brote.....	32
4.6.	Índice de área foliar	33
4.7.	Área de la sección transversal del tronco (ASTT)	34
4.8.	Contenido de clorofila a, b y total.....	35
4.9.	Densidad estomática	35
4.10.	Estructura anatómica de la hoja	36
4.11.	Análisis de Correlación.....	37
5.	DISCUSIONES	39
6.	CONCLUSIONES	47
7.	RECOMENDACIONES	48
8.	BIBLIOGRAFÍA	49
9.	ANEXOS	57

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	PÁGINA
Tabla 1 . Descripción de las dosis de los elementos y el nivel de sombra por tratamiento.....	17
Tabla 2. Dosis de corrección de fertilizantes para B y S	18
Tabla 3. Dosis de fertilizante y nivel de sombreo aplicados para cada tratamiento.....	18
Tabla 4. Correlación de variables morfológicas y fisiológicas cacao clon EETP 801.....	25
Tabla 5. Promedio de incremento de altura (cm) en plantas de cacao clon EETP 801.	27
Tabla 6. Medias de valores de Conductividad Eléctrica.	29
Tabla 7. Medias de longitud y número de metámeros en brotes de cacao EETP 801.....	30
Tabla 8. Área foliar en cacao clon EETP 801.....	33
Tabla 9. Índice de área foliar en plantas de cacao EETP 801.	34
Tabla 10. Contenido de clorofila (Clorofila a, b y total) y relación clorofila a/b.....	35
Tabla 11. Correlación de variables fisiológicas y morfológicas evaluadas en cacao clon EETP 801.	38

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 1. Mapa de ubicación geográfica del sitio de estudio.	15
Figura 2. Forma de aplicación de los fertilizantes en plantas de cacao.	19
Figura 3. Diseño del sombreo en plantas de cacao EETP 801.	20
Figura 4. Diagrama del diseño experimental a nivel de campo.	20
Figura 5. Crecimiento longitudinal de las plantas de cacao EETP 801.	26
Figura 6. Valores del pH en suelos de cacao EETP 801..	28
Figura 7. Largo de brote en unidades experimentales de cacao EETP 801.	30
Figura 8. Tasa de crecimiento absoluta en brotes de cacao EETP 801.	31
Figura 9. Tasa de crecimiento relativo en brotes de cacao EETP 801.	32
Figura 10. Relación entre área y largo foliar en cacao EETP 801.	33
Figura 11. Medias del área de la sección transversal del tronco en cacao EETP 801.	34
Figura 12. Densidad estomática en plantas de cacao clon EETP 801.	36
Figura 13. Visualización microscópica de estomas en hojas de cacao EETP 801.	36
Figura 14. Secciones transversales del limbo foliar del cacao EETP 801 a plena exposición lumínica.	37

Influencia de dos niveles de nutrición y dos niveles de sombra, sobre parámetros fisiológicos y de crecimiento en la etapa vegetativa de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP-801, en Zamora Chinchipe”

RESUMEN

La importancia del cultivo de cacao ha llevado a desarrollar diversos estudios enfocados en su desarrollo y productividad, sin embargo, aún se desconocen aspectos relacionados con la influencia que ejercen la sombra y la fertilización sobre parámetros fisiológicos y de crecimiento del cultivo. Esta desinformación se acentúa en clones nuevos, como es el caso de la Estación Experimental Tropical Pichilingue 801 (EETP 801).

El objetivo de la presente investigación consistió en evaluar la influencia de la sombra y la nutrición sobre parámetros fisiológicos y de crecimiento en la etapa vegetativa de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP 801.

El ensayo se realizó en la estación experimental “El Padmi”, situada en la provincia de Zamora Chinchipe. Se estableció bajo un Diseño Completamente al Azar con arreglo Bifactorial, donde se determinó el efecto de dos niveles de sombra y dos niveles de fertilización, en un total de 4 tratamientos con seis repeticiones. Las variables evaluadas fueron altura de 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 y contenido de clorofila. Además, se midió el pH y la conductividad eléctrica del suelo.

Los resultados indican que no existe interacción entre los factores sombra y fertilización. En las variables, altura de planta, conductividad eléctrica, longitud de brote, concentración de clorofila A y densidad estomática., se manifestaron diferencias significativas entre los tratamientos. El tratamiento de fertilización (T3), permite obtener plantas más altas y una mayor conductividad eléctrica del suelo. En el caso de la longitud de brote, esta fue mayor tanto con el tratamiento de fertilización (T3) como con el tratamiento de sombreado (T2). Con respecto a la clorofila A y la densidad estomática, se obtuvieron los mejores resultados con los tratamientos de sombreado (T2) y sombreado con fertilización (T4).

De acuerdo con los resultados obtenidos se sugiere utilizar intensidades de sombra de 80 % para el cultivo de cacao EETP 801 sin adición de fertilizantes, o directamente hacer un cultivo sin ninguna intensidad de sombreado, pero aplicando la fertilización requerida en esta fase.

Palabras clave: *Theobroma cacao* L., fertilización, radiación solar incidente, crecimiento temprano.

ABSTRACT

The importance of cocoa crop has led to the development of research focused on its growth and productivity, however, aspects related to the influence that shade and fertilization exert on the physiological and growth parameters of the crop are still unknown. This disinformation it's worse in new clones, as is the case of the estacion experimental Tropical Pichilingue 801 (EETP 801).

The research aim was to evaluate shade and fertilization influence about physiological and growth parameters in vegetative stage of EETP 801 cocoa clon.

The trial was developed in "El Padmi" experimental station, located in Zamora Chinchipe province, under a Completely Random Design with Two-Factor Arrangement. The effect of two shade level and two fertilization level was determined, in a total of four treatments with six repetitions. The variables plant height, trunk cross-sectional area, shoot length, length and metamers number, shoot leaf area, leaf area index, stomatal density and chlorophyll content were evaluated. In addition, the pH and soil electrical conductivity were measured.

The results indicate that there is no interaction between the shade and fertilization factors. In variables plant height, soil electrical conductivity, shoot length, chlorophyll A content and stomatal density was observed significant differences between treatments. The fertilization treatment (T3), allows to obtain taller plants and a higher soil electrical conductivity. The shoot length was higher in shade treatment (T2). Respect to chlorophyll A content and stomatal density, the best results were obtained with the shade (T2) and shade – fertilization (T4) treatments.

According to the results obtained, it is suggested to use shade intensities of 80 % for the EETP 801 cocoa crop without the addition of fertilizers, or directly make the crop without any shading intensity, but applying the fertilization required in this phase.

Keywords: *Theobroma cacao* L., fertilization, incident solar radiation, early growth.

1. INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) pertenece a la familia *Malvaceae*, subfamilia *Sterculioideae* (Dostert *et al.*, 2011), cuya característica principal es producir flores y frutos a lo largo del tallo y ramas viejas (Almeida y Valle, 2007). Tiene origen en los trópicos húmedos de América del Sur, en la Amazonía alta de Brasil, Colombia y Ecuador (Loor *et al.*, 2018). Es un cultivo tropical, que se establece en regiones cálidas y húmedas en más de 50 países, 23 de ellos son de América (Arvelo *et al.*, 2017).

La Organización Internacional de Cacao (ICCO, 2018) indica que a nivel mundial se producen alrededor de 3,5 millones de toneladas de cacao. Ecuador es un país potencial para la producción cacaotera, aunque apenas aporta con el 3 % de la oferta mundial; se cultivan alrededor de 573.833 ha, de las cuales 501.285 ha se cultivan con cacao CCN 51, 72.223 ha son de variedad Nacional, y 324 ha están en asocio de CCN 51 y Nacional (Loor *et al.*, 2018; ESPAC, 2019).

La mayor parte de la producción de cacao ecuatoriano se concentra en la provincia del Guayas con el 31,33 % de la superficie total plantada (Quiroz, 2010; ESPAC, 2019), del mismo modo en Zamora Chinchipe cuenta con 898 ha de cultivo de cacao, con rendimientos de 145 kg ha⁻¹, aportando con 0,08 % de la producción nacional (Loayza y Zabala, 2018). Los rendimientos nacionales para CCN 51 fluctúan entre los 440 kg/ha y 520 kg ha⁻¹ (MAG, 2018). Sin embargo, Loor *et al.* (2018), exponen que los nuevos clones de cacao EETP 800 y EETP 801, lanzados por INIAP en el 2016, superan los rendimientos del CCN 51, llegando a tener rendimientos potenciales de 3,2 a 3,4 tn ha⁻¹ de grano seco.

La problemática actual de los productores de la Amazonía ecuatoriana, es la utilización de material genético sin previo estudio de adaptabilidad a las condiciones edáficas y climáticas existentes en la zona, enfrentando problemas climáticos desfavorable (bajas temperaturas), falta de asistencia técnica, y presencia de enfermedades fitosanitarias (monilla, escoba de bruja), reflejándose en los bajos rendimientos productivos y calidad del fruto (BCE, 2019).

En septiembre del 2016, el área de fitomejoramiento del INIAP lanzó dos nuevos clones EETP 800 y EETP 801, que por su precocidad y alto rendimiento proporcionarán un aumento de la productividad por hectárea y una mayor oferta de cacao fino y de aroma a mercados internacionales (Loor *et al.*, 2018).

El cacao, por ser una especie umbrófila, requiere de sombra al menos durante sus primeros estadios de crecimiento y desarrollo. La planta de cacao en la fase de establecimiento es más sensible a la radiación solar (Agudelo *et al.*, 2018), altas temperaturas y corrientes fuertes de viento, factores que provocan quemaduras en las hojas, facilitando el desprendimiento y la defoliación de la misma (Martínez y Enríquez, 1984).

Cada variedad de cacao responde de manera diferente a la radiación fotosintéticamente activa (PAR). En ensayos realizados por el INIAP sobre clones de cacao Nacional, se encontraron respuestas óptimas de fotosíntesis y rendimiento a altos valores de radiación nunca antes reportados para este cultivo (Jaimez *et al.*, 2018). Por otra parte, el cacao es una especie sensible a la intensidad lumínica (Quiroz, 2010), por lo cual, un exceso puede provocar defoliaciones, y aumentar la acción de insectos chupadores, dependiendo de la variedad.

Además del sombreo, también es importante analizar la fertilización, factor que se puede determinar de acuerdo a un análisis de suelo y a la extracción nutricional de la planta. La extracción nutricional está influenciada por los ritmos de crecimiento y emisión de flujos foliares (García, 2014). A partir de los dos meses de establecido el cultivo de cacao, se debe fertilizar con producto de alto contenido de fósforo y nitrógeno hasta los seis meses, al segundo año la fertilización debe aumentarse en un 20 %, y al tercer año, después de la poda la fertilización debe incluir una fórmula completa de potasio y microelementos hasta el quinto año, donde se deberá realizar un nuevo análisis de suelo para suplir la demanda nutricional (Arvelo *et al.*, 2017).

Con una adecuada combinación de sombreo y nutrición, la planta puede generar tolerancia a factores ambientales, ataque de plagas y enfermedades, además de incrementar la calidad y rendimiento de frutos (Alarcón *et al.*, 2012). De ahí la importancia de encontrar el punto

crítico de los factores sombra-fertilización para cada lugar y variedad de cacao (Enríquez, 1985).

Con los antecedentes descritos, la presente investigación buscó analizar el efecto que tiene la sombra y la fertilización en el desarrollo morfofisiológico de las plantas de cacao clon EETP 801 en estado vegetativo.

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

1.1.Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Evaluar la influencia de la sombra y la nutrición sobre parámetros fisiológicos y de crecimiento en la etapa vegetativa del cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP-801.

1.1.2. Objetivos específicos

- ✓ Identificar el efecto de la nutrición y la sombra, sobre parámetros fisiológicos de plantas de cacao en estado vegetativo.

- ✓ Determinar el efecto de la sombra y la nutrición, sobre el crecimiento de plantas de cacao en estado vegetativo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Cacao (*Theobroma cacao* L.)

El cacao pertenece a la familia de las *Malvaceae*, subfamilia *Sterculioideae*. Tiene origen en los trópicos húmedos de América del Sur, en la zona alta de la Amazonía ecuatoriana (ANECACAO, 2017). Es un árbol o arbusto semi-caducifolio de hasta 12 m de altura, de tallo glabro o parcialmente pubescente en los ejes jóvenes. La corteza es oscura (gris-café), con ramas finamente vellosas. Las hojas son coriáceas, simples, enteras (o ligera e irregularmente sinuadas), angostamente ovadas a obovado-elípticas, ligeramente asimétricas, de 17 a 48 cm de largo y de 7 a 10 cm de ancho, alternas y glabras o laxamente pubescentes en ambas caras, la base es redondeada a ligeramente cordada, con ápice largamente apiculado. El pecíolo es de 14 a 27 mm de largo. Presenta estípulas lineares y caducas (Dostert *et al.*, 2011).

La raíz principal es pivotante, en los primeros meses de vida de la planta puede crecer entre 120 a 150 cm, en suelos sueltos llega hasta los 200 cm; en los primeros 25 cm de profundidad se encuentra el mayor volumen de raíces secundarias (entre 85 a 90 %) (Enríquez, 2010). Es una planta cauliflor, es decir florece en los troncos maduros o en las ramas más viejas, su fase reproductiva inicia a partir de los 30 a 32 meses, aunque los clones e híbridos tardan entre 14 y 18 meses, produciendo inflorescencias caulinares y cimosas (Almeida y Valle, 2007).

Las flores son pentámeras, hermafroditas, actinomorfas de 10-20 mm de diámetro, pedúnculo floral de 1-3 cm de largo, con 10 estambres lineares: cinco estambres fértiles que se alternan con cinco estaminodios, todos los estambres están fusionados en la base formando un tubo, los estambres fértiles están dispuestos frente a los pétalos, los estaminodios son violeta. El ovario es de 2-3 mm de largo, anguloso-ovado, ligeramente pentagonal y pentámero. Los óvulos se disponen en dos filas con 6-12 óvulos por fila. Presenta sépalos lanceolados de color verdoso, blanco o rosa claro de 5-8 mm de largo, con 1,5 a 2 mm de ancho. Los pétalos son un poco más largos que los sépalos, de 6 a 9 mm de largo, libres, amarillentos, con dos (tres) nervios violetas (Dostert *et al.*, 2011).

Esta especie presenta 10 pares de cromosomas, es altamente alógama, con una polinización cruzada que sobrepasa el 95 % (Quiroz, 2010). El fruto se constituye en una baya grande, polimorfa, esférica a fusiforme, púrpura o amarillo en la madurez, glabro, de 10 a 20 cm de largo y casi 7 cm ancho, pesando entre 200 a 1000 g con 5 a 10 surcos longitudinales de granos. Las semillas son café-rojizas, ovadas y ligeramente comprimidas (Dostert *et al.*, 2011).

Dentro del fruto se encuentran las semillas, que están cubiertas por una pulpa blanquecina viscosa, dulce y comestible (Largo y Yugcha, 2016). El grano está compuesto por fibras, grasa, proteínas, cenizas y cierto porcentaje de humedad.

2.2. Fenología del cacao

Niemenak *et al.* (2009), menciona que la fenología del cacao inicia con el periodo de la imbibición y emergencia de las plántulas, fase que dura aproximadamente 25 días, continuando con los estadios de desarrollo de las hojas en el brote principal de la planta joven y en las ramas de abanico, elongación del tallo principal, formación de horquetas en la rama de abanico y chupón, alargamiento de la rama abanico, seguido de la emergencia de la inflorescencia, etapa de floración y finalmente la fase de crecimiento y desarrollo del fruto (Anexo 4).

Greathouse *et al.* (1971), indica que los brotes de cacao presentan distintas fases en el ritmo de crecimiento, tales como: flusing 1 (F1), flusing 2 (F2), inter flush 1 (I1), inter flush 2 (I2), e inter flush 3 (I3) (Anexo 4)

2.3. Grupos genéticos

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

2.3.1. Criollo

Probablemente el cacao criollo fue domesticado por los mayas en diferentes zonas y regiones de América hace más de 3000 años, siendo el grupo de cacao más delicado y de poca productividad, susceptible a las plagas y enfermedades, por eso cuando el mal de machete (*Ceratocystis cacaofunesta*) se expandió por el continente americano, este genotipo de cacao casi desapareció, especialmente en Panamá, Costa Rica y Nicaragua, aunque en el Alto Amazonas, se han encontrado genotipos resistentes a enfermedades, de los que se extraen materiales genéticos para la creación de clones que sean resistentes a problemas sanitarios (Enríquez, 2010; Dostert *et al.*, 2011).

Este tipo de cacao se caracteriza por tener mazorcas de coloraciones verdes y rojizas en estado inmaduro, tornándose amarillas y anaranjado rojizos cuando están maduras (Enríquez, 2010). El chocolate obtenido de este cacao es apetecido por el sabor a nuez y fruta, enmarcándose dentro de los cacaos finos (Paredes, 2009).

2.3.2. Forastero

Es también conocido como cacao Amazónico y/o amargo, es originario de la cuenca superior del Amazonas. Es una de las variedades que más se cultiva en las regiones cacaoteras de África y Brasil, aportando más del 80 % de la producción mundial (Motamayor, 2001).

Las mazorcas en estado inmaduro son de color verde y cuando están maduras son de color amarillo, en la base tienen una forma de pequeño cuello de botella (Paredes, 2009). El fruto contiene más de 30 semillas, pericarpo grueso, mesocarpo fuertemente lignificado, semillas redondeadas y ligeramente aplanadas, con cotiledones de color violeta (Dostert *et al.*, 2011).

En este genotipo se agrupan todos los cacaos comerciales de Brasil, el oeste Africano y el este de Asia, así como el cacao nacional del Ecuador, y líneas del bajo Amazonas de tipo amelonado (Motamayor, 2001).

2.3.3. Trinitario

Genotipo que resultó del cruce espontáneo del cacao criollo y el forastero amazónico. De esta cruce heterogénea se tiene como resultado una diversidad de formas intermedias de mazorcas al igual que su coloración rojiza. Son más resistentes a enfermedades, y se adaptan a diversas condiciones ambientales (Enríquez, 2010).

Estos abastecen del 10 al 15 % de la producción mundial. Es el cacao que más se cultiva en América (Paredes, 2009; Dostert *et al.*, 2011) .

2.3.4. Cacao Nacional de Ecuador

Posee características semejantes al tipo Forastero, pero existen pocas plantaciones puras de este genotipo. Actualmente, predominan las plantaciones producto del cruce natural con materiales genéticos introducidos desde Venezuela y Trinidad. Las mazorcas son amelonadas, con estrangulaciones en la base y el ápice de la misma, con surcos y lomos poco profundos, el color interno de las almendras es violeta pálido o lila. De este tipo de cacao se obtienen los mejores chocolates del mundo, por su sabor y aroma floral (Paredes, 2009).

2.3.5. Clones

Corresponden a plantas que presentan componentes hereditarios idénticos, debido a que se derivan de una planta madre seleccionada (planta plus). Los clones son propagados asexualmente mediante estacas, acodos o injertos (Quiñones *et al.*, 2015).

Se identifican con letras y números provenientes de su investigación, como es el caso del CCN 51 (Colección Castro Naranjal), material que cubre una parte de las plantaciones de la Amazonía, sus mazorcas son rojizas-moradas en estado tierno, y cuando maduran son de color rojizo-anaranjado (Paredes, 2009).

2.3.5.1. Clon CCN-51. Clon que fue obtenido de la hibridación de los clones ICS - 95 x IMC – 67, más un segundo cruce con un cacao del Oriente ecuatoriano denominado “Canelos” (ANECACAO, 2017).

2.3.5.2. Clon INIAP EETP-800 (Estación Experimental Tropical Pichilingue). Se caracteriza por su precocidad (14 meses) y alto rendimiento, aportando al crecimiento productivo y a la oferta exportable de cacao fino y de aroma (Loor *et al.*, 2018).

2.3.5.3. Clon INIAP EETP-801 (Estación Experimental Tropical Pichilingue). Se lo obtuvo mediante el cruce de clones de origen nacional y el clon CCN 51; material que se destaca por presentar características de altos niveles de rendimiento productivo (2,4 a 3 t/ha/año de cacao seco) y de calidad (ANECACAO, 2017), resistencia a plagas y enfermedades como la escoba de bruja (*Monillioptera perniciosa*), monilla (*Mollioptera roreri*) y mal de machete (*Ceratocystis fimbriata*) (Loor *et al.*, 2018).

2.4. Condiciones edafoclimáticas para el cultivo de cacao

Para el establecimiento de un cultivo de cacao, es importante considerar la altitud de la zona, ya que, se convierte en un factor determinante en el cambio de la temperatura, precipitación, luminosidad, suelo y humedad relativa, condiciones que a su vez afectan directamente el crecimiento y desarrollo de la planta.

2.4.1. Altitud

Se cultiva casi desde el nivel del mar y hasta los 1200 msnm, siendo el óptimo de 300 a 400 msnm y de 600 a 800 msnm (López *et al.*, 2011).

2.4.2. Temperatura

El cacao puede crecer y producir económicamente en lugares con temperaturas no menores a 15° C; cuando son extremadamente altas, afecta momentáneamente las funciones de algunas partes de la planta. La temperatura media fluctúa entre los 25° C y 26° C, aunque también se encuentran plantaciones comerciales en lugares con temperaturas de 23° C (Quiroz, 2010). En el cultivo de cacao, las bajas temperaturas inciden en la velocidad del crecimiento vegetativo, el desarrollo del fruto y el grado de intensidad de la floración (Almeida, 2010). Cuando la temperatura es menor a 21° C, casi no hay formación de flores, lo ideal es tener temperaturas de 25° C, donde las flores se forman de manera normal y abundante (Quiroz, 2010).

2.4.3. Precipitación

La cantidad de lluvia anual que satisface las necesidades del cultivo, oscila entre 1200 y 1500 mm/año. En zonas que sobrepasan los 4000 mm/año, lo que se requiere es que los suelos sean bien drenados para que la planta de cacao se desarrolle correctamente, ya que de lo contrario la raíz sufriría de asfixia, conllevando a la muerte de la planta (Carrillo *et al.*, 2010).

2.4.4. Luminosidad

La intensidad de la luz es otro factor determinante en el cultivo del cacao, especialmente porque influye en los procesos fotosintéticos. En etapas de establecimiento del cultivo se recomienda la siembra de otras plantas para proporcionar sombra, ya que, las plantas en esta etapa son muy susceptibles a la acción directa de los rayos solares (ANECACAO, 2017). En etapa de producción se considera que una intensidad lumínica menor al 50 % del total de la luz, limita los rendimientos, mientras que cuando es mayor al 50 % los aumenta (Dostert *et al.*, 2011).

La luminosidad es variable dependiendo del ciclo productivo en el que se encuentre la planta, siendo del 40 al 50 % para fase vegetativa y del 60 al 75 % para fase reproductiva o en plantaciones adultas (López *et al.*, 2011).

2.4.5. Suelo

Los cultivares de cacao requieren de suelos franco, franco-arcilloso, franco-arenoso, con una profundidad de 0,80 – 1,5 m, porosidad óptima de 66 %, buena retención de agua, es poco tolerante a suelos arcillosos, con pH óptimo de 6 a 7, y, con un mínimo de 3 % de materia orgánica (López *et al.*, 2011).

2.4.6. Humedad relativa

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

2.5. Nutrición mineral del cacao

La nutrición es la base fundamental para obtener buenos rendimientos productivos, de igual manera los factores físicos y químicos del suelo, manejo agronómico y el potencial genético del material cultivado (Rúales *et al.*, 2011). El sombreado que se mantenga en el cultivo, el nivel de luz que llega a las hojas y la demanda de fertilizantes inciden directamente en la baja o alta productividad (Leiva y Ramírez, 2017).

La fertilización debe ser aplicada en base a los resultados de un análisis de suelo, además de considerar la demanda nutricional de la planta. Sin embargo, Puentes *et al.* (2016), plantea que para cacaotales que se encuentran totalmente expuestos al sol, la fertilización debe estar basada en NPK principalmente con la finalidad de evitar la foto-inhibición de las plantas, de lo contrario, se recomienda aplicar un nivel de sombra de aproximadamente 60 %. El cacao con una adecuada nutrición genera tolerancia a factores ambientales, ataque de plagas y

enfermedades, además de mejorar la calidad de los frutos e incrementar los rendimientos productivos (Alarcón *et al.*, 2012).

La cantidad o dosis de fertilizante es variable, dependiendo de los resultados de los análisis de suelo, densidad de siembra, material de sombreo y del estado de desarrollo de la planta. Thong (1999), plantea un estimativo de las cantidades de nutrientes que son absorbidos por las plantas de cacao en diferentes fases, desde el vivero, establecimiento del cultivo, inicio de la producción y plena producción. Además, Paspuel (2018), menciona que no todo el fertilizante aplicado es aprovechado por la planta, porque cierta cantidad se pierde por problemas de solubilidad, lavado y absorción por microorganismos.

2.5.1. Nitrógeno

Macronutriente esencial por formar parte de la molécula de la clorofila, contribuye en la síntesis de aminoácidos y proteínas (Alarcón *et al.*, 2012). Además estimula el aumento en el área de la hoja, el crecimiento en plantas jóvenes a través de la división celular masiva (Jadin y Snoeck, 1985).

El nitrógeno en el suelo se encuentra de forma orgánica, amoniacal y nítrico, la diferencia entre estas formas, es la velocidad de absorción (Carrillo *et al.*, 2010). Las plantas absorben el N en forma de iones de amonio (NH_4^+) o nitrato (NH_3^-) (Arévalo *et al.*, 2016).

2.5.2. Potasio

El potasio es denominado como el elemento de la calidad para la producción agrícola, en el cacao contribuye al aumento del número y peso del fruto y semillas (Furcal 2018).

Contribuye en la translocación de los fotosintatos, promoviendo el mecanismo de resistencia a plagas y patógenos (Alarcón *et al.*, 2012), además, de dar vigor a la planta, fortaleciendo su sistema radicular y ayudando a la formación y desarrollo de semillas .

2.5.3. Fósforo

El fósforo es vital en los procesos fotosintéticos, como en el transporte, almacenamiento y transferencia de energía para la formación de flores, frutos y semillas, promueve el desarrollo de raíces, además, de acelerar la maduración de los frutos (Carrillo *et al.*, 2010). El P se mueve en la planta en forma de iones ortofosfatos y como P incorporado en los compuestos orgánicos formados (Puentes *et al.*, 2016).

2.5.4. Calcio

Elemento esencial en la estimulación de los sistemas enzimáticos en la división celular, crecimiento y elongación celular, constituyente de las paredes celulares y membrana plasmática, además contribuye a la germinación del polen y elongación del tubo polínico (Alarcón *et al.*, 2012).

2.5.5. Magnesio

Es un elemento constituyente de la clorofila, es relativamente móvil dentro de la planta, se transfiere de hojas más viejas a órganos en crecimiento y especialmente a semillas y frutas (Thomas *et al.*, 2016).

2.1. Sombreo en el cultivo de cacao

El cacao por considerarse una planta umbrófila, debe ser cultivada bajo sistemas agroforestales, a la sombra de grandes árboles, pero más recientemente se han introducido y defendido plantaciones en monocultivos (Gockowski y Sonwa, 2010). El objetivo del sombreado al inicio de la plantación es reducir la cantidad de radiación que llega al cultivo (Jaimez *et al.*, 2018), protegiendo las hojas del efecto directo del sol, el cual ejerce una acción restrictiva sobre su crecimiento. Además, el sol produce quemaduras que facilitan que el viento rompa y arranque las hojas causando defoliaciones (CATIE, 1984).

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).

El cacao durante los primeros años de vida es más exigente con el nivel de sombreo que oscila entre el 60 y 70 % (Agudelo *et al.*, 2018). A medida que la copa de la planta se desarrolla el rango de sombra debe ser disminuido paulatinamente hasta un 40-20 % en plantaciones de más de ocho años de establecidas (Somarriba, 2004). Con este nivel de sombreo, puede llegar a presentar densidades de flujo fotónico de 400 a 600 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (Jaimez *et al.*, 2008). Estudios recientes en variedades ecuatorianas de cacao clonal y CCN51 a alta luminosidad, han mostrado incrementos de hasta el 35 % en la tasa fotosintética neta a 1 800 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, dando como resultado final un crecimiento más rápido y una mayor producción de fotoasimilados (Jaimez *et al.*, 2018).

Bajo condiciones de sombreo, la disponibilidad de humedad en el suelo es mayor durante la época seca, permitiendo mantener la actividad fisiológica de las plantas (Agudelo *et al.*, 2018). Un sombreo apropiado incrementa la vida productiva por hasta 50 años, ya que contribuye a un incremento de la tasa fotosintética, crecimiento y rendimiento, además de reducir los efectos de los factores ecológicos desfavorables como la baja fertilidad del suelo, daños mecánicos ocasionados por el viento y temperaturas extremas del aire y del suelo durante la época seca (Almeida y Valle, 2007; Duarte *et al.*, 2019). En cambio cuando se tiene cacaotales sin sombra implica menor vida productiva, mayor demanda de fertilizantes, transpiración excesiva de las hojas y aumento en la evapotranspiración del suelo (Almeida y Valle, 2007).

Las hojas de cacao sometidas a sombreo, mantienen mayores concentraciones de clorofila, influyendo en las tasas de asimilación de CO_2 (Jaimez *et al.*, 2008). La mayor tasa fotosintética está asociada a la mayor concentración de clorofila, altos niveles de nitrógeno, cloroplasto más grandes y mejor metabolismo de la planta (Agudelo *et al.*, 2018).

La transpiración de una hoja expuesta al sol es más acelerada, dos o tres veces mayor que la de una hoja bajo sombra (CATIE, 1984). La poca tolerancia del cacao a altas radiaciones

hace que el tiempo de vida de las hojas sea variada entre 250 y 450 días en plantas expuestas a pleno sol o bajo sombra respectivamente (Jaimez *et al.*, 2008).

2.2. Sombra y nutrición en el cultivo de cacao

El cacao bajo la protección de sombra demanda menor cantidad de nutrientes como nitrógeno y fósforo que son esenciales para la formación de proteínas, y en menor cantidad potasio importante en la estimulación del crecimiento y aceleración de la translocación de carbohidratos hacia el sistema radicular, debido a que la planta elabora menor cantidad de fotoasimilados (CATIE, 1984).

Por esta razón, bajo sombra intensa el cacao tiene menores rendimientos y la adición de fertilizantes no da una respuesta positiva (CATIE, 1984). En un suelo de fertilidad pobre o marginal, con períodos de sequía prolongada, el exceso de luz puede afectar el rendimiento en forma negativa, debido a que la planta es exigida a través del proceso fotosintético a elaborar más alimentos, sin disponer de las condiciones para ello (nutrientes y humedad). Además, provoca estrés en la planta por causa de la deshidratación y la acción quemante del sol sobre las hojas, por causa de las altas temperaturas que caracterizan los períodos de verano en el trópico (Puentes *et al.*, 2015).

La relación que existe entre la luz y el grado de nutrición del cacao es un factor decisivo para obtener buena productividad por unidad de superficie, indicando que a mayor porcentaje de sombra la fertilización a base de nitrógeno es menor (Arvelo *et al.*, 2017).

3.2. Manejo del experimento

El presente trabajo se ejecutó en dos etapas: una fase de campo y una de laboratorio. La fase de campo contempló el establecimiento del cultivo, el análisis de suelo a partir del cual se establecieron los tratamientos de nutrición con base en N, P, K, Ca y Mg, la aplicación de sombreado 0 y 80 %, y el registro de datos de las características fisiológicas y de crecimiento de plantas de cacao clon EETP 801 durante el periodo de julio a septiembre de 2020. Además, cabe indicar que el cultivo se desarrolló bajo condiciones potenciales en manejo de arvenses, plagas y enfermedades.

La segunda etapa se llevó a cabo en el Laboratorio de Aguas, Suelo y Bromatología de la Universidad Nacional de Loja. En esta instancia, se midió el pH del suelo, Conductividad Eléctrica (CE), concentración de clorofila, estructura anatómica de la hoja y densidad estomática.

3.2.1. Material vegetal

Se utilizaron plantas de cacao clon EETP 801 en estado inicial de desarrollo. Se seleccionó este clon por ser una variedad representativa para la Amazonía Ecuatoriana, 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⁻¹.

3.2.2. 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 6).

3.3. Diseño Experimental

Se aplicó un Diseño Experimental Completamente al Azar (DCA) con arreglo Bifactorial, trabajándose cuatro tratamientos, seis repeticiones, con un total de 24 unidades experimentales (Tabla 1). El modelo matemático empleado para este ensayo fue:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha \times \beta)_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Y= Variable respuesta

μ = Media poblacional

α= Efecto del factor A

β= Efecto del factor B

(αxβ) = Efecto de la interacción del factor A y el factor B

ε= Error experimental

Tabla 1 . Descripción de las dosis de los elementos y el nivel de sombra aplicados por tratamiento, en cacao clon EETP 801.

Tratamiento	Dosis (unidades/kg/ha)					Sombreo (%)	Descripción
	N	P	K	Ca	Mg		
T1	0	0	0	0	0	0	Fertilización: 0 % Sombra: 0 %
T2	0	0	0	0	0	80	Fertilización: 0 % Sombra: 80 %
T3	136,00	14,00	156,00	113,00	47,00	0	Fertilización: 100 % Sombra: 0 %
T4	136,00	14,00	156,00	113,00	47,00	80	Fertilización: 100 % Sombra: 80 %

3.3.1. Aplicación de los tratamientos

Los tratamientos estuvieron dados por la combinación de dos factores: fertilización y sombra aplicados en plantas de cacao clon EETP 801.

3.3.1.1. Fertilización. Se partió de la interpretación del análisis de suelo, en donde se determinó que existía un déficit de Boro y Azufre haciéndose la respectiva corrección, aplicando ácido bórico y sulfato de magnesio (Tabla 2).

Tabla 2. Dosis de corrección de fertilizantes para B y S en suelo de cultivo de cacao EETP 801.

Descripción	Déficit (ppm)	Dosis de corrección (kg/ha)	Elemento (g) por planta	Fertilizante	Dosis (g) por planta	Dosis adicional (g)	Aporte nutricional (g)
S	4,2	42,00	58,8	MgSO ₄	57,77	0,00	71,11 Mg
B	0,4	4,00	5,6	B(OH) ₃	31,66	0,00	0,0

Para el cálculo del déficit y la dosis de corrección se utilizaron las siguientes fórmulas:

Déficit: $D = \text{Ideal} - \text{Resultado de análisis}$

Dosis de corrección: $DC = \frac{\text{Déficit} \times \text{Prof.rad.} \times \delta a \times 10}{\text{Eficiencia}}$

La dosis aplicada a cada tratamiento, se determinó a partir de la demanda nutricional del cultivo de los elementos N, P, K, Ca y Mg en la fase de establecimiento (Anexo 5). En la Tabla 3, se detallan los tratamientos aplicados en el ensayo.

Tabla 3. Dosis de fertilizante y nivel de sombreo aplicados para cada tratamiento en el cultivo de cacao clon EETP 801.

Descripción	Unidades (kg/ha)	% de Sombreo	Elemento (g) por planta	Fertilizante	Dosis de fertilizante (g) por planta	Aporte adicional (g)
T1	0,0 N	0	-	-	-	-
	0,0 P		-	-	-	-
	0,0 K		-	-	-	-
	0,0 Ca		-	-	-	-
	0,0 Mg		-	-	-	-
T2	136,0 N	80	190,47	NH ₄ NO ₃	302,77 N	0,0
	14,0 P		16,60	DAP (18-46-0)	42,22 P	90,55 N
	156,0 K		218,48	Muriato de K	363,88 K	57,77 S
	113,0 Ca		158,26	Ca(NO ₃) ₂	608,88 Ca	0,0
	47,0 Mg		65,82	MgSO ₄	444,44 Mg	0,0
T3	136,0 N	0	190,47	NH ₄ NO ₃	302,77 N	
	14,0 P		16,60	DAP (18-46-0)	42,22 P	
	156,0 K		218,48	Muriato de K	363,88 K	0,0

	113,0 Ca		158,26	Ca(NO ₃) ₂	608,88 Ca	90,55 N
	47,0 Mg		65,82	MgSO ₄	444,44 Mg	57,77 S
	0,0 N		-	-	-	-
	0,0 P		-	-	-	-
T4	0,0 K	80	-	-	-	-
	0,0 Ca		-	-	-	-
	0,0 Mg		-	-	-	-

La fertilización se realizó a partir del 12 de julio de 2020 y fue fraccionada en cuatro partes, aplicándolas aproximadamente a 30 cm de distancia desde la base del tallo, a 5 cm de profundidad con una frecuencia de 20 días (Figura 2).



Figura 2. Forma de aplicación de los fertilizantes en plantas de cacao clon EETP 801.

3.3.1.2. Sombra. Para dar el nivel de sombreado se utilizó sarán o polisombra, consiguiendo una intensidad de 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 m², diseñándose una caseta para cada planta de los tratamientos dos y cuatro (Figura 3). Las plantas del tratamiento testigo (T1) y fertilizado (T3), estuvieron expuestas a plena radiación solar.



Figura 3. Diseño del sombreado en plantas de cacao clon EETP 801.

3.3.2. Delineamiento experimental

Dentro del campo de estudio se encuentran 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).

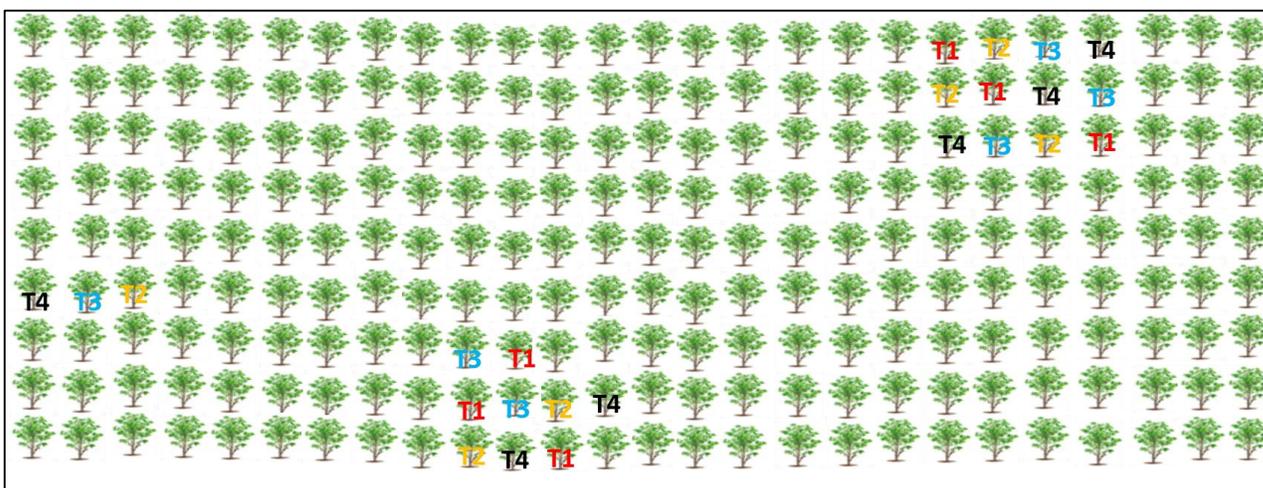


Figura 4. Esquema del diseño experimental y tratamientos implementados en campo (T1: testigo, T2: sombra, T3: fertilización, T4: sombra y fertilización), establecido bajo un Diseño Completamente al Azar, con arreglo bifactorial.

3.4. 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 cm². El ASTT se calculó utilizando la siguiente fórmula: $ASTT = C^2 / 4\pi$, donde: C=Circunferencia del tronco.

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

$$TCA = \Delta L / \Delta t \rightarrow (Lt_1 - Lt_0) / (t_1 - t_0)$$

$$TCR = 1 / Lt_1 * TCA$$

Donde:

TCA es la tasa de crecimiento absoluta (cm/día), **TCR** es la tasa de crecimiento relativo del brote (cm (cm/día)), **Lt₁** y **Lt₀** son la variación de longitud en la fecha actual (t₁) y anterior (t₀) al muestreo, respectivamente.

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:

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

Concentración de clorofila: esta variable se evaluó a los 80 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 tratamientos, 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 es de 645 y 663 nm, de igual manera se utilizó las siguientes fórmulas:

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

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

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

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.

Los estomas se observaron en el microscopio óptico, con un aumento de 10x y se utilizó el programa Anfinity Analyze 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).

Estructura anatómica de la hoja

A los 84 días de iniciado el ensayo, se extrajeron hojas de tratamientos sin sombra, en tres repeticiones, de las cuales, se cortó una muestra de 2 mm x 4 mm, la que fue fijada con Formaldehído acético (14 %). Luego se procedió con la deshidratación de la muestra mediante tres lavados con etanol de 70 %, 90 % y 100 %, por 10 minutos. Posteriormente, se hizo la infiltración con xileno, en tres etapas de 10 minutos cada una, y finalmente se procedió con la inclusión, colocando parafina en una estufa a 60° C, y una vez líquida se colocó en ella la muestra, para posteriormente dejarla a temperatura ambiente para que se endurezca y poder hacer los cortes transversales con el micrótopo. Finalmente, las muestras se observaron y fotografiaron a través del microscopio a 100X (Pacheco *et al.*, 2020).

pH y conductividad eléctrica del suelo: se aplicó el método del potenciómetro, utilizando 10 g de suelo tamizado a 2 mm.

El muestreo se realizó a una profundidad de 10 cm. Cada muestra estuvo compuesta por cuatro submuestras, correspondientes a los sitios señalados donde se aplicaron los fertilizantes desde el inicio del ensayo, tomando aproximadamente 30 g de suelo por planta, con tres repeticiones/tratamiento. Las muestras fueron secadas al aire libre y tamizadas en malla de 2 mm, para su posterior análisis.

El valor inicial del pH fue de 5,53 (ligeramente ácido) (Anexo 2).

3.5. Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza (ANAVA) bifactorial para determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos y determinar una posible interacción entre los factores fertilización y sombreo. En caso de diferencias significativas, se aplicó el test de comparaciones múltiples de Tukey (95 %), para determinar el mejor tratamiento.

Para estimar el área foliar, se hizo un análisis de regresión, mientras que, para establecer relación entre variables cuantitativas, se realizó el análisis de correlación de Pearson (95 %) (Tabla 4).

Tabla 4. Correlación de variables morfológicas y fisiológicas medidas en cacao clon EETP 801.

Variable 1	Variable 2
Altura de la planta	Área de la sección transversal del tronco
	Índice de área foliar.
	Diámetro del tallo
Área foliar del brote	Largo del brote
	Longitud de metámeros
	Índice de área foliar
Número de metámeros	Longitud del brote
	Área foliar del brote
Índice de área foliar	Densidad estomática
	Contenido de clorofila total
Contenido de clorofila total	Clorofila a
	Clorofila b
Clorofila a	Clorofila b

4. RESULTADOS

4.1. Altura de la planta

A los 20, 40, 61 y 84 días después del tratamiento (DDT), el ritmo de crecimiento fue influenciado por el efecto de la fertilización y la sombra. De acuerdo a los resultados obtenidos, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, en relación a la altura de la planta en cada unidad experimental de cacao clon EETP 801 (p -valor = 0,0025; p -valor < 0,05), siendo los tratamientos sombra al 80 % (T2) y fertilización al 100 % (T3), los que mostraron medias más altas de altura de planta de 82,85 cm, y 90 cm respectivamente (Figura 5).

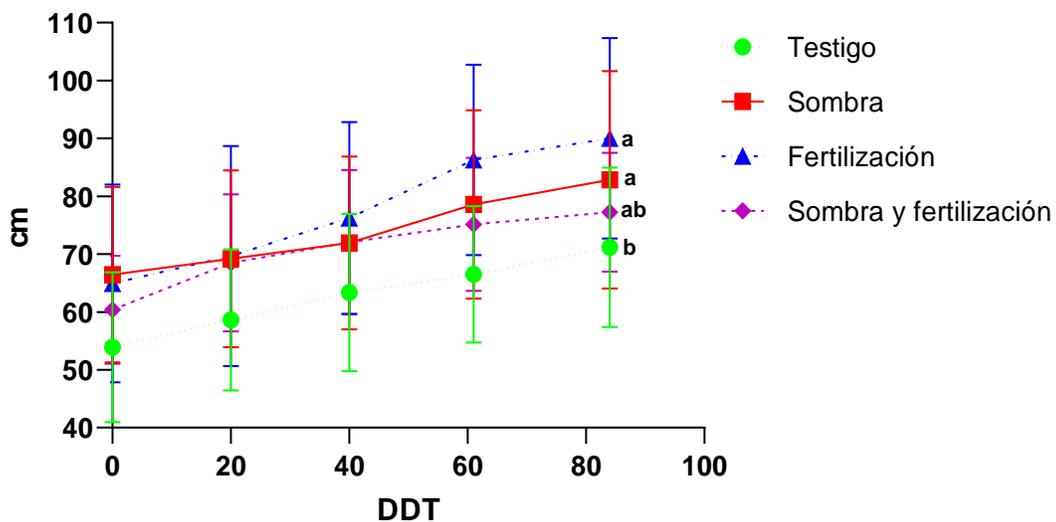


Figura 5. Crecimiento longitudinal de las plantas de cacao clon EETP 801. Testigo (T1), Sombra (T2; 80%), Fertilización (T3; 100%) y sombra y fertilización (T4; 80%:100%).

*DDT: Días después del tratamiento.

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

Aunque en las medias de altura se tenga que las plantas sometidas a tratamientos de sombra al 80 % (T2) y fertilización al 100 % (T3) son los que mostraron plantas más altas, las medias del ritmo de crecimiento fueron distintas desde el día 1 hasta el día 84. Las unidades experimentales del tratamiento de fertilización al 100 % (T3), alcanzaron una media de ritmo de crecimiento de 25,08 cm a los 84 DDT, pero para las plantas sometidas a sombreado solo

alcanzaron un ritmo de crecimiento de 16,37 cm, siendo el valor más bajo de todos los tratamientos (Tabla 5).

A pesar de que las plantas del tratamiento de sombra al 80 % y fertilización al 100 % (T4), a los 20 DDT mostraron un ritmo de crecimiento alto de 8,13 cm con respecto al resto, este valor fue disminuyendo en cada momento de evaluación, obteniendo a los 84 DDT un ritmo de crecimiento de 16,83 cm (Tabla 5).

Las unidades experimentales del tratamiento testigo (T1), durante todos los momentos de evaluación, mostraron un ritmo de crecimiento similar con valores comprendidos entre 3,18 y 4,74 cm, alcanzando a los 84 DDT un ritmo de crecimiento de 17,26 cm (Tabla 5).

En lo que respecta a las plantas que estuvieron bajo el tratamiento de sombra y fertilización (T4), su incremento en altura disminuyó a partir de los 40 DDT, lo que no sucede con ninguno de los otros tratamientos.

Tabla 5. Promedio de incremento de altura (cm) en plantas de cacao clon EETP 801 a partir de los 20 días hasta los 84 DDT.

Tratamiento	Factor (%)		20 DDT (cm)	40 DDT (cm)	61DDT (cm)	84 DDT (cm)	TOTAL (cm)
	Sombra	Nutrición					
Testigo (T1)	0	0	4,71	4,74	3,18	4,63	17,26 ns
Sombra (T2)	80	0	2,62	2,83	6,67	4,25	16,37 ns
Fertilización (T3)	0	100	4,72	6,63	10	3,73	25,08 ns
Sombra y fertilización (T4)	80	100	8,13	3,57	3,03	2,10	16,83 ns

*DDT: Días después del tratamiento.

**ns: No significativo

4.2. Análisis de pH del suelo

El pH inicial del suelo en el terreno donde se ejecutó el ensayo fue de 5,3. En la Figura 6, se presentan los distintos valores de pH en las diferentes fechas de evaluación (p-valor = 0,16; p-valor > 0,05), no se encontró diferencias estadísticamente entre los tratamientos. Sin embargo, se apreció un incremento del pH entre los días 20 y 84 tras la aplicación de los tratamientos.

A los 40 y 61 días, los tratamientos testigo (T1) y sombra al 80 % (T2) presentaron valores de pH inferiores a 5,7, sin embargo, a los 84 días en el tratamiento de sombreo el pH se incrementó a 6,4, media superior al resto de tratamientos. En los tratamientos de fertilización al 100 % (T3), y sombra al 80 % y fertilización al 100 % (T4) las medias de pH fueron similares durante todos los momentos de evaluación.

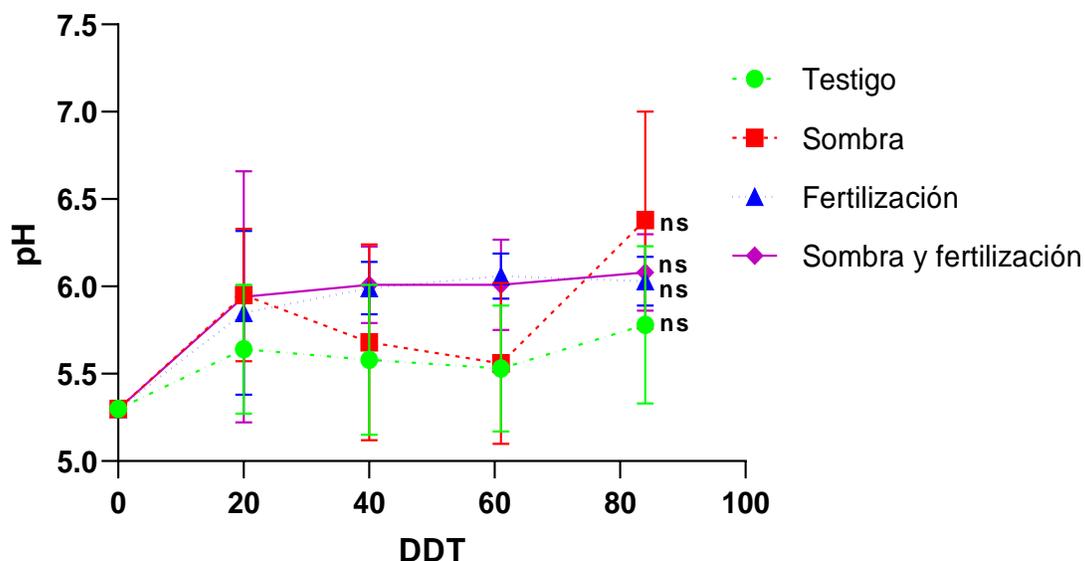


Figura 6. Valores del pH en suelos de cacao clon EETP 801. Testigo (T1), Sombra (T2; 80 %), Fertilización (T3; 100 %) y sombra y fertilización (T4; 80 %:100 %).

*DDT: Días después del tratamiento.

**ns: No significativo

4.3. Conductividad eléctrica del suelo

La conductividad eléctrica durante todos los momentos de evaluación, no mostró diferencias estadísticas significativas, hasta los 84 DDT donde se manifestaron diferencias significativas (p -valor = 0,0028; p -valor < 0,05) entre los tratamientos, siendo la fertilización (T3) la que influyó en la conductividad eléctrica (CE) del suelo, con un valor de $1,31 \text{ mS cm}^{-1}$ (fuertemente salino) (Tabla 6).

Tabla 6. Medias de valores de Conductividad Eléctrica, de muestras de suelos sometidas a fertilización y sin fertilización, en plantas de cacao EETP 801.

Tratamiento	Conductividad Eléctrica (mS cm ⁻¹)			
	20 DDT	40 DDT	61 DDT	84 DDT
Testigo (T1)	0,45	0,29	0,79	0,15 b
Sombra (T2)	0,19	0,24	1,20	0,27 b
Fertilización (T3)	0,27	0,41	0,84	1,31 a
Sombra y fertilización (T4)	0,35	0,42	0,54	1,09 ab

*DDT: Días después del tratamiento.

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

4.4. Longitud del brote

De acuerdo a los resultados obtenidos, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, en lo que respecta a longitud de metámeros en cada unidad experimental evaluada (p -valor = 0,018; p -valor < 0,05). Los tratamientos que mostraron medias más altas fueron la sombra al 80 % (T2) y la fertilización al 00 % (T3). Las plantas sometidas a estos tratamientos, presentaron brotes que tuvieron un crecimiento similar desde los 20 a los 84 días de evaluación, llegando a alcanzar una longitud al final de 14 cm y 13,50 cm, respectivamente.

Los brotes de las plantas Testigo (T1), presentaron un crecimiento promedio similar al T2 y T3, sin embargo, su ritmo de crecimiento fue menor, alcanzando una media de longitud final de 10,23 cm (Figura 7).

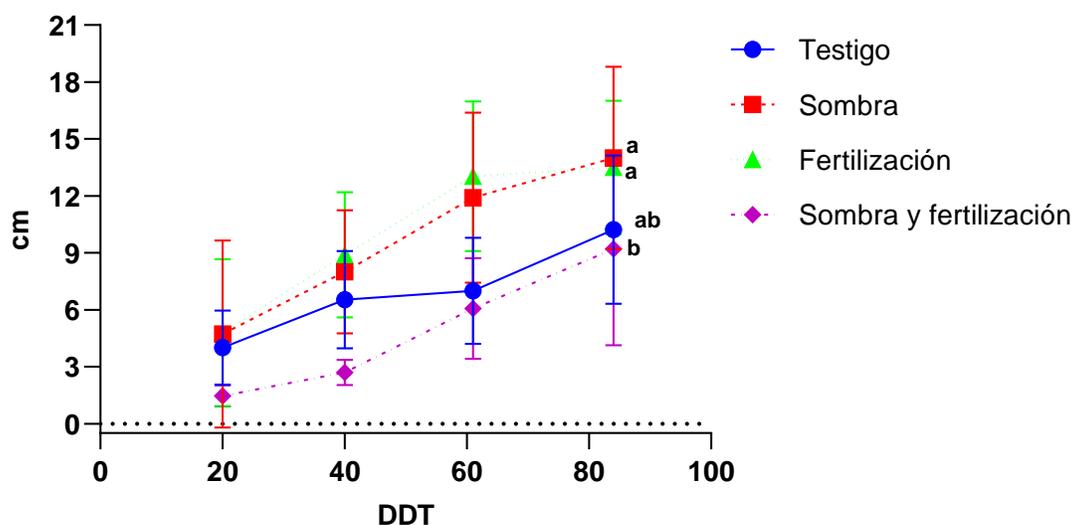


Figura 7. Largo de brote en plantas de cacao clon EETP 801. Testigo (T1), Sombra (T2; 80 %), Fertilización (T3; 100 %) y sombra y fertilización (T4; 80 %:100 %).

*DDT: Días después del tratamiento.

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

Al analizar estadísticamente los resultados obtenidos en lo que respecta a la longitud y número de metámeros evaluados a los 84 días, no se manifestaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Sin embargo, las plantas de los tratamientos testigo (T1), sombra al 80 % (T2) y fertilización al 100 % (T3) mostraron una media similar en longitud de metámeros de 1,8 cm, 1,9 cm y 1,8 cm, respectivamente. El tratamiento de sombra y fertilización (T4) presentó la media más baja de 1,2 cm., sin embargo, esto se vio compensado con el número de metámeros, con una media de 8,7 metámeros (Tabla 7).

Tabla 7. Medias de longitud y número de metámeros en brotes de cacao clon EETP 801.

Tratamiento	Factor (%)		Metámero	
	Sombra	Nutrición	Número	Longitud
Testigo (T1)	0	0	5,7 ns	1,8 ns
Sombra (T2)	80	0	7,3 ns	1,9 ns
Fertilización (T3)	0	100	7,7 ns	1,8 ns
Sombrea y fertilización (T4)	80	100	8,7 ns	1,2 ns

*ns: No significativo

4.4.1. Tasa de crecimiento absoluta del brote (TCA)

La TCA del largo del brote, evaluada en cada unidad experimental de cacao clon EETP 801, desde el día 40 al día 84 después de la emisión del brote, no presentan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (p -valor = 0,5238; p -valor > 0,05), aunque los brotes si muestran un crecimiento activo. Los valores fluctuaron entre los 0,205 y 0,062 cm día^{-1} a los 40 días, entre 0,197 y 0,022 cm día^{-1} a los 61 días, y entre 0,141 y 0,041 cm día^{-1} a los 84 días (Figura 8).

La TCA desde el día 40 al día 84 de aplicados los tratamientos, no evidenció interacción entre los niveles de sombreo y fertilización. Sin embargo, la fertilización al 100 % (T3) actuó de forma independiente a los 40 y 61 DDT con medias de TCR de 0,205 $\text{cm (cm día}^{-1})$ y 0,197 cm día^{-1} respectivamente. Para el día 84 DDT, la TCA disminuyó a 0,041 cm día^{-1} , siendo el valor más bajo con respecto al resto de tratamientos (Figura 8).

La sombra al 80 % (T2) también actuó de forma independiente por mostrar medias de TCA que varían de 0,163 y 0,091 desde los 40 a 84 DDT (Figura 8).

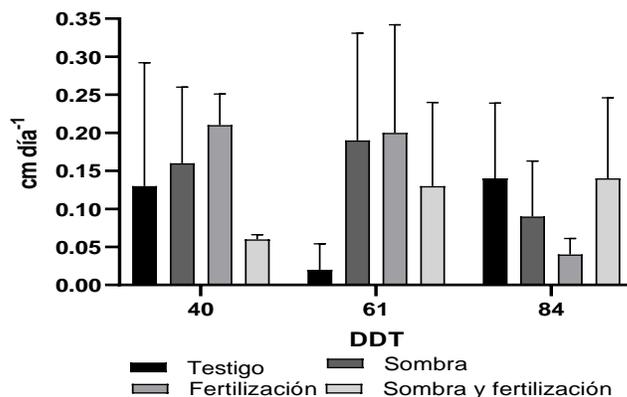


Figura 8. Tasa de crecimiento absoluta en brotes de plantas de cacao clon EETP 801. Testigo (T1), Sombra (T2; 80 %), Fertilización (T3; 100 %) y sombra y fertilización (T4; 80 %:100 %).

*DDT: Días después del tratamiento.

4.4.2. Tasa de crecimiento relativa del brote (TCR)

En la TCR de los brotes de cada unidad experimental de cacao clon EETP 801, evaluada desde los 40 hasta los 84 días después de la emisión del brote (Figura 9), no presenta

diferencias estadísticamente significativas (p -valor = 0,58; p -valor > 0,05). Teniendo valores entre 0,087 y 0,045 cm (cm día^{-1}) a los 40 días, entre 0,058 y 0,003 cm (cm día^{-1}) a los 61 días, y 0,02 y 0,004 cm (cm día^{-1}) a los 84 días (Figura 9).

Los tratamientos de sombra al 80 % (T2) y fertilización al 100 % (T3) a los 40 DDT presentan valores de TCR similares, 0,087 y 0,084 cm (cm día^{-1}), respectivamente. A los 61 y 84 DDT, las plantas que estuvieron sometidas a sombra al 80 % y fertilización al 100 % (T4), presentando los valores más altos de TCR, de 0,058 y 0,019 cm (cm día^{-1}), respectivamente, en comparación del resto de tratamientos (Figura 9).

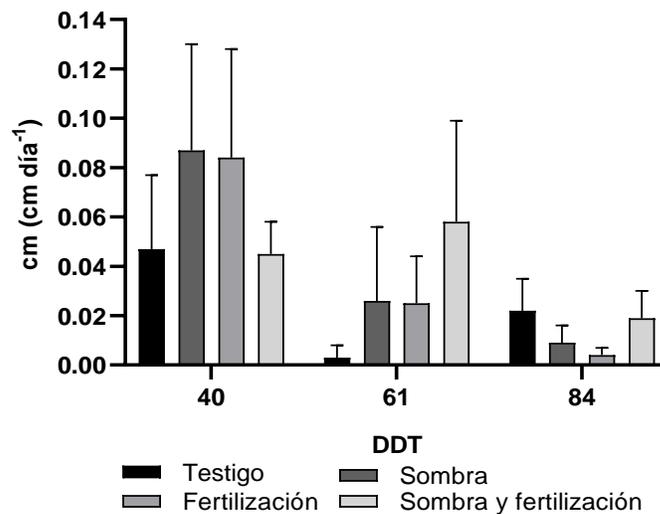


Figura 9. Tasa de crecimiento relativo en brotes de cacao clon EETP 801. Testigo (T1), Sombra (T2; 80 %), Fertilización (T3; 100 %) y sombra y fertilización (T4; 80 %:100 %).
*DDT: Días después del tratamiento.

4.5. Área foliar del brote

Para calcular el área foliar del brote, se utilizó una medida alométrica basada en un análisis de regresión con los datos de largo y ancho, donde se probaron diferentes modelos de regresión. El mejor ajuste se obtuvo con el modelo potencial para el largo de la hoja, es decir, el área foliar puede expresarse mediante la medida de largo de la hoja. En la Figura 10, se muestra la ecuación y la curva de regresión.

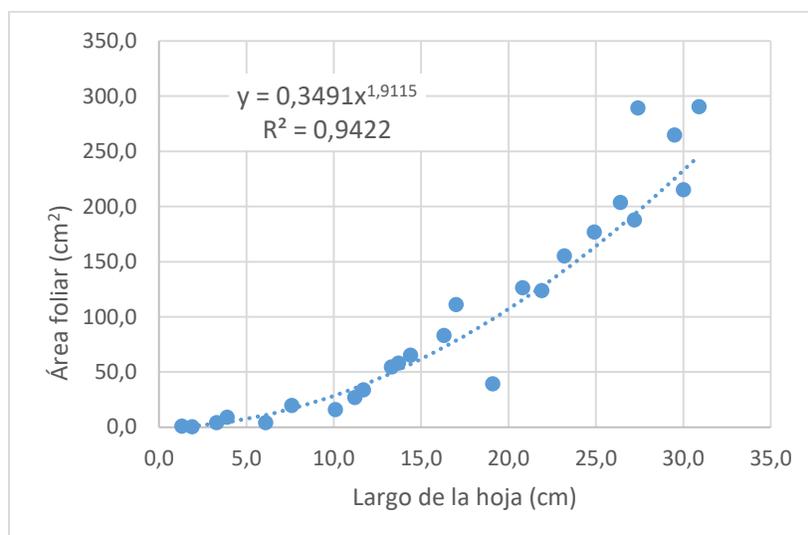


Figura 10. Relación entre área y largo foliar en cacao EETP 801.

La ecuación que se obtuvo del análisis alométrico para el área foliar es $0,3491x^{1,9115}$, con un coeficiente de determinación R^2 de 0,94; es decir que el 94,22 % de la variación total del área foliar se debe al efecto del largo de la hoja (cm).

La Tabla 8, muestra las medias de área foliar de la planta y del brote. El área foliar de la planta presenta valores que van de 3679,47 y 5411,51 cm^2 , sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Así mismo, el área foliar de los brotes presentaron rangos que varían entre 321,31 y 605,42 cm^2 , pero tampoco se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos.

Tabla 8. Área foliar en cacao clon EETP 801 a los 84 DDT.

Tratamiento	Área foliar brote (cm^2)	Área foliar planta (cm^2)
Testigo (T1)	321,31 ns	3679,47 ns
Sombra (T2)	381,12 ns	5411,51 ns
Fertilización (T3)	327,65 ns	4859,08 ns
Sombra y fertilización (T4)	605,42 ns	4077,56 ns

*DDT: Días después del tratamiento.

**ns: No significativo

4.6. Índice de área foliar

En la Tabla 9, se muestran las medias del IAF, donde no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (p valor = 0,95; p valor > 0,05). Aunque las plantas que

fueron bajo sombra de 80 % (T2) mostraron un IAF de 0,39, valor más alto con respecto a los otros tratamientos.

Tabla 9. Índice de área foliar en plantas de cacao EETP 801 a los 84 DDT.

Tratamiento	IAF
Testigo (T1)	0,26 ns
Sombra (T2)	0,39 ns
Fertilización (T3)	0,35 ns
Sombra y fertilización (T4)	0,29 ns

*IAF: Índice de Área Foliar.

**DDT: Días después del tratamiento.

***ns: No significativo

4.7. Área de la sección transversal del tronco (ASTT)

El área de la sección transversal del tronco, fue analizada en la vareta y el patrón de injerto (Figura 11), pero no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, a pesar que las plantas que fueron fertilizadas al 100 % (T3) presentaron un crecimiento positivo en el diámetro del tallo, tanto en el patrón como en el injerto. Otro de los tratamientos que mostró un incremento en el ASTT fueron las plantas sometidas a sombra al 80 % y fertilización al 100 % (T4), incrementándose de 2,76 cm a 4,84 cm en el patrón, y de 1,23cm a 1,95 cm de ASTT en la vareta.

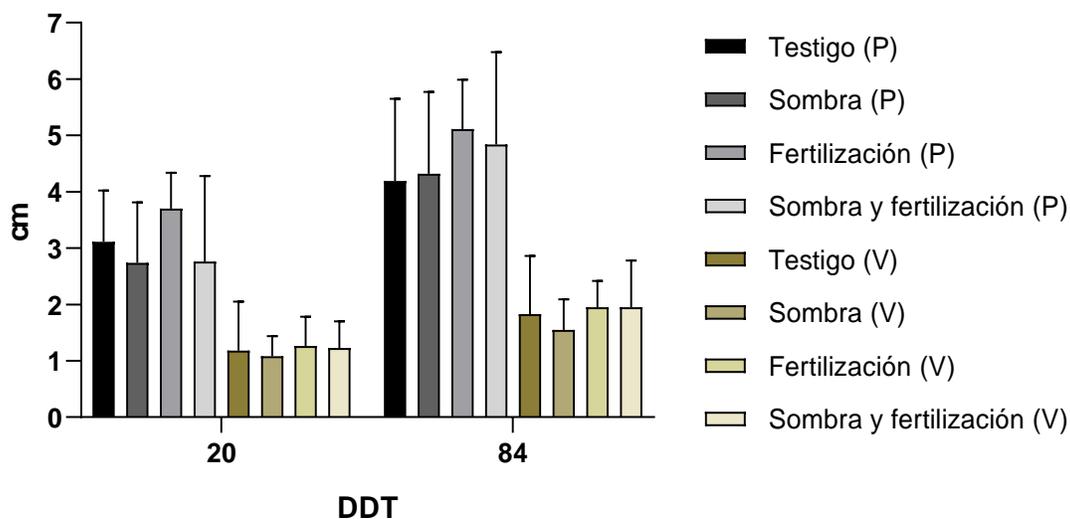


Figura 11. Medias del área de la sección transversal del tronco, tanto en el patrón (P) como en el injerto (V) del cacao clon EETP 801.

*DDT: Días después del tratamiento.

4.8. Contenido de clorofila a, b y total

De acuerdo a los resultados obtenidos, se determinaron diferencias altamente significativas entre los tratamientos, con respecto al contenido de clorofila tipo a en hojas de cacao clon EETP 801 (p-valor = 0,0088; p-valor < 0,01), siendo que los tratamientos de sombra al 80 % (T2) y de sombra al 80 % y fertilización al 100 % (T4), mostraron las medias más altas de 50,95 y 50,93 ml g⁻¹, respectivamente (Tabla. 10), con respecto a los otros tratamientos.

El contenido de clorofila total y tipo b evaluados a los 84 DDT, sin mostrar diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (p-valor = 0,22; p-valor = 0,049; p-valor > 0,05). Sin embargo, se registraron valores medios entre 44,42 y 77,67 ml g⁻¹ de clorofila total y entre 12,37 y 26,76 ml g⁻¹ de contenido de clorofila de tipo b (Tabla 10). La relación de clorofila a/b fue mayor en plantas que estaban completamente expuestas al sol que en aquellas que estuvieron bajo sombra, independientemente de la fertilización, debido a la reducción del porcentaje de la clorofila b, aunque no se presentaron diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 10. Contenido de clorofila (Clorofila a, b y total) y relación clorofila a/b en hojas de cacao EETP 801 expuestas a plena radiación solar (T1), sombra al 80 % (T2), fertilización al 100 % (T3) y, sombra al 80 % y fertilización al 100 % (T4).

Tratamiento	Contenido de clorofila (ml g ⁻¹)			
	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total	Clorofila a/b
Testigo (T1)	32,06 b	12,37	44,42 ns	2,59 ns
Sombra (T2)	50,95 a	21,70	72,63 ns	2,25 ns
Fertilización (T3)	41,91 ab	17,04	58,93 ns	2,46 ns
Sombra y fertilización (T4)	50,93 a	26,76	77,67 ns	1,90 ns

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

**ns: No significativo

4.9. Densidad estomática

En cuanto al número de estomas en las hojas de las unidades experimentales de cacao clon EETP 801 (Figura 13), se presentaron en un rango entre 807,45 y 934,32 estomas por mm², determinando diferencias estadísticamente entre los tratamientos (p valor = 0,0003; p valor < 0,05). Las plantas que estuvieron bajo los tratamientos de sombra al 80 % (T2), y de sombra al 80 % y fertilización al 100 % (T4) mostraron las medias más altas en densidades

estomáticas de 934,32 y 914,39 estomas mm⁻², respectivamente (Figura 12), con respecto a los otros tratamientos.

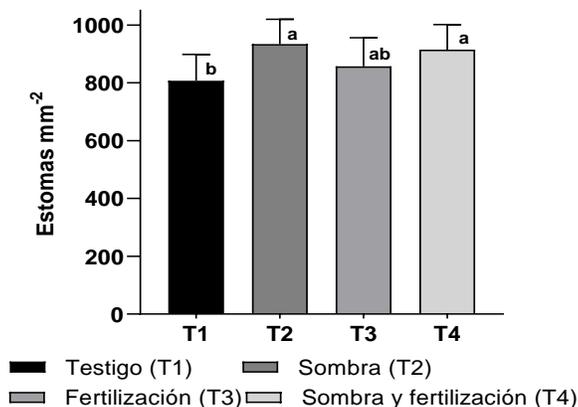


Figura 12. Densidad estomática en plantas de cacao clon EETP 801 a los 84 DDT. Testigo (T1), Sombra (T2; 80 %), Fertilización (T3; 100 %) y sombra y fertilización (T4; 80 %:100 %). *DDT: Días después del tratamiento. **Letras diferentes indican diferencia estadística significativa, según test de Tukey ($p < 0,05$).

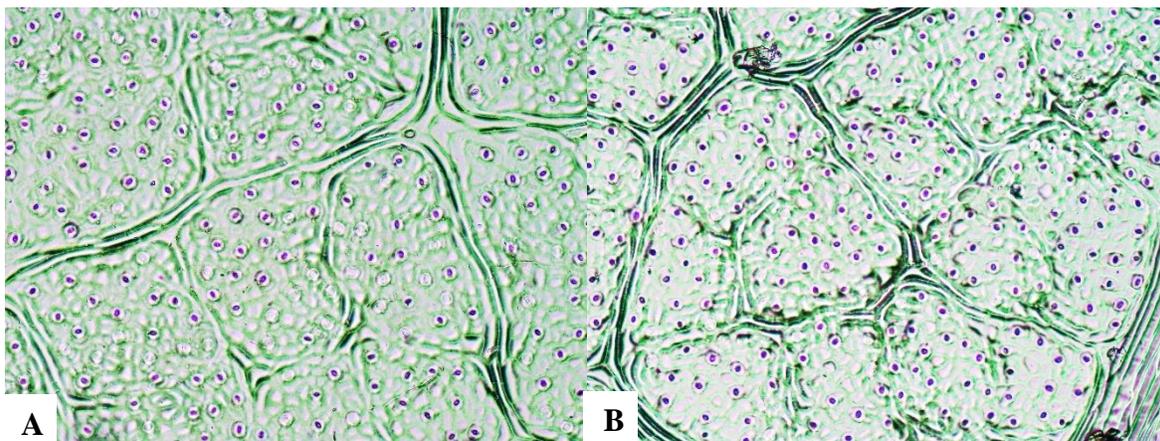


Figura 13. Estomas de la epidermis adaxial de cacao clon EETP 801. **A:** Impronta de hojas expuestas a pleno sol. **B:** Impronta de hojas expuestas a sombreo.

4.10. Estructura anatómica de la hoja

En la sección transversal de la hoja de cacao EETP 801 expuestas a pleno sol, se identificaron las siguientes estructuras: parénquima lagunar y empalzado, epidermis adaxial y abaxial, glándulas secretoras, haces vasculares de la nervadura de hoja (Figura 14 A-B). En el haz del limbo foliar se identificó la epidermis adaxial, que se caracteriza por presentar células grandes y generalmente planas, entre ellas se encuentran estructuras secretoras; y en el envés

que corresponde a la epidermis abaxial, muestra células de menor tamaño y de forma variable (Figura 14B). En el mesófilo de la hoja se encuentra el parénquima en empalizada y el parénquima lagunar o esponjoso (Figura 14A).



Figura 14. Secciones transversales del limbo foliar de *Theobroma cacao* L., clon EETP 801 a plena exposición lumínica. **A:** Mesófilo de la hoja, que muestra la estratificación del parénquima en empalizada (Pp) y lagunoso (Pl). Resalte la epidermis uniseriada y la extensión de la vaina parenquimatosa y esclerénquima (flecha amarilla). **B:** Haces vasculares de la nervadura de la hojas xilema (X) y floema (F), glándulas secretoras (gs), epidermis adaxial (ead) y epidermis abaxial (eab).

4.11. Análisis de Correlación

En la Tabla 11, se observan las principales correlaciones a los 20 y 84 días después de los tratamientos (DDT). Con los datos registrados a los 20 DDT, se encontró correlación entre el Área de la Sección Transversal del Patrón (ASTP) y Área de la Sección Transversal de la Vareta (ASTV), con $r = 0,53$ y $p\text{-valor} < 0,05$.

En cambio a los 84 DDT, se encontraron correlaciones entre las variables de ASTP v/s ASTV, ASTP v/s altura de la planta, longitud del brote v/s longitud del metámero, longitud de brote v/s número de metámeros, altura de planta v/s índice de área foliar y altura de planta v/s índice de área foliar. El ASTP presenta una asociación positiva con el ASTV y la altura de la planta con $r = 0,50$ y $p\text{-valor} < 0,05$.

Así mismo, se encontró correlación de la variable de longitud del brote entre la longitud del metámero y número de metámeros, en el que se tuvo un $r = 0,58$ y $0,75$, respectivamente (Tabla 11). La altura de la planta presentó una alta correlación positiva con el índice de área

foliar, presentando un coeficiente de correlación de Pearson de 0,99 (p-valor < 0,0001). La concentración de clorofila total, también mostró correlación positiva con el contenido de clorofila a y b, con un $r = 0,96$ y $0,95$ (p valor < 0,0001) respectivamente.

Tabla 11. Correlación de variables fisiológicas y morfológicas evaluadas en cacao clon EETP 801.

Variable(1)	Variable(2)	n	Pearson	p-valor
ASTT-Patrón	ASTT-Vareta	24	0,70	0,0002
	Altura de planta	24	0,54	0,0064
Long. Brote	Long de metámeros	12	0,58	0,0467
	N° de metámeros	12	0,75	< 0,0001
Área foliar de la planta	Índice de Área foliar	12	1	< 0,0001
Clorofila total	Clorofila A	12	0,96	< 0,0001
	Clorofila B	12	0,95	< 0,0001
Clorofila B	Clorofila A	12	0,82	0,0012
Área foliar del brote	Índice de área foliar	12	-0,20	0,5421
Altura de planta	Índice de área foliar	12	0,41	0,1851
Densidad estomática	Índice de área foliar	12	0,01	0,9864
Índice de área foliar	Contenido de clorofila	12	-0,08	0,8078

5. DISCUSIONES

En la presente investigación, se evaluó el efecto de la fertilización y el sombreado sobre las variables fisiológicas y morfológicas en cacao clon EETP 801. Así a los 84 días después del tratamiento (DDT), las plantas de cacao EETP 801 mostraron una mejor respuesta a la fertilización (T3) con las dosis de N, P, K, Ca y Mg requeridas en la fase de establecimiento del cultivo, reflejándose en la altura de la planta con medias de 90 cm, con un ritmo de crecimiento de 25,08 cm durante los 84 días de evaluación, lo que concuerda con los resultados obtenidos por Aldemar *et al.* (2016), que evaluó plantas de cacao establecidas bajo sombreado y a plena exposición al sol, aplicando N, P y K en diferentes dosis, las plantas sometidas al 100 % de la demanda nutricional y expuestas a pleno sol tuvieron la mayor altura. Así también, Carrillo *et al.* (2010), aplicando NKP al 100 % de la demanda nutricional en fase de establecimiento a los 360 DDT obtuvo plantas con alturas medias de 86,5 cm.

El crecimiento y desarrollo del cacao es influenciado por un complejo de factores genéticos, fisiológicos y morfológicos y sus interacciones con las variables ambientales como la concentración de dióxido de carbono y el nivel de la intensidad de la luz, todos estos factores inciden intensamente en la habilidad del cacao para absorber, transportar y utilizar agua y nutrientes (Baligar *et al.*, 2005; Carr y Lockwood 2011).

Además, esta respuesta puede deberse a los flujos de crecimiento influenciados por factores endógenos como las altas concentraciones de ácido abscísico, los que están sincronizados y correlacionados, alrededor del 80 % con factores climáticos y la alternancia de periodos secos y lluviosos, lo que disminuye significativamente la fotosíntesis neta y el crecimiento y desarrollo de nuevos flujos vegetativos, como lo describen (Almeida 2010; Carr y Lockwood 2011; García 2014).

La eficiencia del aporte nutricional al 100 % (T3) de los elementos requeridos en la etapa de establecimiento, no solo se ve reflejado en la altura de la planta, sino que también en los valores del área de la sección transversal del tronco, tanto en el patrón como en la vareta de injerto, teniendo medias de 5,11 cm y 1,95 cm, respectivamente. Esta respuesta se debería a que los elementos aportados de N, P, K, Ca y Mg en las dosis requeridas cumplen funciones

fundamentales en el crecimiento de la planta, la división celular, la formación de las moléculas de la clorofila y la síntesis de tejidos (Mejía *et al.*, 2017). El tallo es el lugar en donde se almacenan los nutrientes esenciales (Carrillo *et al.*, 2010). Según García (2014), los nutrientes pueden ser más importantes que la sombra en etapas tempranas de crecimiento y desarrollo de las plántulas. La mayoría de experimentos con cacao que incluyen sombra y fertilización muestran que la sombra reduce las respuestas a la aplicación de fertilizantes (Alvim y Koslowski, 1977).

Las plantas en estado juvenil, no solo mantienen un crecimiento longitudinal por acción de los meristemas apicales, sino también, tienen un crecimiento diametral o secundario producido por la división celular que ocurre en el cambium vascular, razón por la cual la altura de la planta y ASTT del patrón, muestran una correlación positiva a los 84 días de iniciados los tratamientos. Esta correlación también ha sido encontrada por otros investigadores (Gil-Restrepo *et al.*, 2017).

La respuesta que tuvieron las plantas testigo en el ritmo de crecimiento de 17,26 cm a los 84 DDT, quizás se debió a las condiciones climáticas, como densidad de nubes y baja demanda evaporimétrica, propias de Ecuador, lo que permite cultivar cacao sin sombra, tan solo dando el aporte nutricional requerido (Duarte *et al.*, 2019).

También Amores (1992), en sus investigaciones indica que el cacao responde a la fertilización solo si se cultiva con niveles moderados de sombra o a plena exposición solar. Así, la respuesta del ritmo de crecimiento de las plantas de cacao sometidas a sombreado y fertilización se disminuyó a partir de los 40 DDT, posiblemente por una respuesta negativa a la fertilización en un nivel de 80 % de sombra, ya que la respuesta a la fertilización es distinta en cada material genético. Los requerimientos nutritivos de un cultivo con exceso de sombreado, son satisfechos por la fertilidad nativa del suelo debido a que las plantas presentan una actividad metabólica bastante disminuida. (Cunningham y Burridge 1960), al someter plántulas de cacao a pleno sol y sombra intensa (85 %), demostraron que el agua y los nutrientes minerales eran los factores más cruciales para la promoción del crecimiento a plena exposición solar.

La altura de la planta se correlaciona positivamente con el área de la sección transversal del tronco del patrón, ya que a medida que la planta crece, forma mayor área foliar, y por ende, necesita de un tallo vigoroso, que resista el peso del área foliar, pero no así el área de la sección transversal de la vareta con el ASTT-Patrón y altura de planta, debido a que el cacao EETP 801 es un clon, en el que el tallo se bifurca a poca altura, no así cuando son plantas provenientes de semilla, que forman un solo tallo, hasta alcanzar una altura de 1 a 1,5 m a la edad de 14 meses, tiempo en el que se detiene el crecimiento de la yema apical y emergen las ramas laterales en número de 3-5 (Moreno, 1965).

La sombra y la nutrición actuaron de manera independiente en la longitud del brote, tasa de crecimiento absoluta y relativa de los brotes y en la longitud del metámero. Los brotes de las plantas desarrolladas bajo sombra al 80 % (T2) alcanzaron una media de 14 cm a los 84 DDT, de la misma manera, los brotes de plantas que fueron fertilizadas al 100 % (T3) mostraron medias de crecimiento del brote de 13,5 cm, en respuesta al aporte nutricional, lo que estimuló el crecimiento y translocación de carbohidratos al brote (Almeida y Valle, 2007).

A pesar de que los valores de la TCA del brote son variables entre los tratamientos y en cada momento de evaluación, no presentan diferencias estadísticas significativas. Sin embargo, los brotes de plantas que fueron fertilizadas, presentaron mayor TCA a los 40 y 61 días de aplicados los tratamientos con medias de 0,21 y 0,20 cm día⁻¹, respectivamente, y este disminuyó a 0,04 cm día⁻¹ a los 84 días. Esto, debido a que los brotes de estas plantas disminuyeron su ritmo de crecimiento por encontrarse los brotes en fase de Inter-flush 2 (I-2), que corresponde a la latencia del brote, sin expansión de hojas, ni alargamiento del tallo (Greathouse *et al.*, 1971). En lo que respecta a la TCR, el incremento de biomasa fue mayor a los 40 y 61 días de evaluación en plantas que estaban bajo sombra, en vista que a medida que se desarrolla el brote las hojas que lo conforman tienden a madura.

El número de metámeros aunque fue distinto en todos los tratamientos, no se encontraron diferencias estadísticas significativas, esto debido al ritmo de crecimiento de los brotes. Cada ritmo de crecimiento está compuesto por cinco fases específicas, basadas en características morfológicas externas de las puntas de los brotes y de hojas en desarrollo (Greathouse *et al.*,

1971). La mayoría de los brotes seleccionadas, se encontraban en fase de flusing 2 (F-2), con longitudes de brote que van de 1,47 a 4,8, con aproximadamente 2-4 hojas recién desplegadas (Código 11-110), Greathouse *et al.* (1971), expone que esta fase demora $10,4 \pm 1,0$ días, y termina con la formación de $10,7 \pm 2$ hojas / flush, y el brote alcanza una longitud media de $10,9 \pm 2$ cm / flush y cada flush se da en periodos de tiempo aproximadamente de $65,8 \pm 5,7$ días, dependiendo las condiciones medioambientales, genotípicas y de nutrición. Aunque la periodicidad del crecimiento de los brotes de cacao es un ritmo biológico endógeno (Gil-Restrepo *et al.*, 2017) . La longitud de metámero en brotes de plantas que estuvieron bajo sombra (T2) fue de 1,2 cm, valor inferior en comparación con la longitud de los metámeros de los brotes de las plantas de los otros tratamientos, pero esta longitud se vio compensada con el número de metámeros (8,7) superior al resto de tratamientos.

El área foliar de la planta se vio influenciada por el nivel de sombreo y la fertilización, de manera independiente, con medias de $5411,51 \text{ cm}^2$ y $4859,08 \text{ cm}^2$, respectivamente, así mismo las plantas que estuvieron bajo la influencia de los dos factores (sombra y fertilización) presentaron una media de $4077,56 \text{ cm}^2$ para el área foliar. Las plantas que son fertilizadas aumentan su área foliar, debido a que la adición de nutrientes estimula la formación de hojas, y esto es lo que explica que este tratamiento mostró plantas con mayor área foliar y por ende plantas más altas, porque mientras más área foliar se tenga, mayor producción de fotoasimilados habrán, y que posteriormente serán translocados para el crecimiento de la planta.

Jaimez *et al.* (2018), expone que en plantas de cacao sometidas a 76 % de sombra en fase de establecimiento del cultivo, presentaron un rango de área foliar de 4300 a 4390 cm^2 . Raja Harun y Kamariah (1983), también indican que los cacaos bajo sombra tienen mayor área foliar, menor espesor de la lámina foliar, y mayor contenido de clorofila. Sin embargo, Acheampong *et al.* (2013), evaluó 4 genotipos de cacao a diversos niveles de sombreo, donde menciona que el área foliar fue generalmente menor bajo sombra intensa, y las plantas que estuvieron con mayores intensidades de luz, mostraron mayor área foliar.

A los 84 días de iniciado el ensayo, los brotes evaluados alcanzaron áreas foliares de 605,42 y 321,31 cm². Además, la longitud de los metámeros favorece positivamente al incremento del área foliar, porque a mayor longitud de metámeros la distribución de los fotoasimilados va a ser mejor, distribuyéndose a todas las hojas del brote y planta en general. Mientras que el número de metámeros beneficia al incremento del brote, al estar relacionado con la capacidad fotosintética de la planta. Los brotes que estuvieron bajo sombra fueron los que mostraron mayor área foliar en relación al resto, ya que es característico de las plantas que toleran sombra incrementar su área fotosintética bajo esta condición (Bertolde *et al.*, 2012).

En la sección transversal de la hoja de cacao EETP 801 expuestas a pleno sol, el parénquima empalizado mostró células alargadas y en el parénquima lagunar se identificaron varias capas de células con muy pocos espacios intercelulares, esto se corrobora con lo encontrado por Encinas *et al.* (2017), donde indica que las plantas expuestas a pleno sol muestran un parénquima acuoso con células alargadas y el parénquima acuoso muestra muchas capas de células con pocos espacios intercelulares, esto no ocurre en hojas que están bajo sombra, que presentan un parénquima lagunar con muchos espacios intercelulares. García *et al.* (2014), también expone que las hojas expuestas a la intensidad luminosa tienen un parénquima empalizado más grueso lo que evita que se den altas tasas de fotoinhibición. Además, a lo largo del mesófilo también se identificó una vaina de células parenquimáticas y esclerenquimáticas, Nakayama *et al.* (1996), también describe que a lo largo del mesófilo de la hoja de cacao se expande haces colectoras, rodeadas por una vaina de esclerenquima que se extiende hasta la epidermis. Fontenelle *et al.* (1993), afirma que la extensión de la vaina esclerenquima, puede ser considerada como una estructura de protección fisiológica frente a factores ambientales, principalmente por la alta incidencia luminosa.

En la parte abaxial de la hoja, se encuentran los estomas que tienen la función esencial en el mantenimiento de la homeostasis de la planta, especialmente en la regulación de la pérdida de vapor de agua e ingreso de CO². En la presente investigación, en hojas de cacao clon EETP 801, se encontraron rangos de 934,32 a 807,45 estomas por mm² en los diferentes tratamientos, lo cual está dentro del rango reportado por Zambrano (2017), quien encontró promedios de 877,50 estomas por mm² en cacao clon CCN 51. Las plantas que estuvieron

bajo sombra fueron las que presentaron mayor número de estomas en comparación con aquellas que estuvieron expuestas directamente a la radiación solar, esto no concuerda con lo descrito por Tian *et al.* (2016), que la densidad estomática es mayor en 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 la fotosíntesis. Rodríguez *et al.* (2016), también registraron mayor densidad estomática en cafetos expuestos a pleno sol y disminuyó significativamente a medida que incrementó la sombra. Las diferencias de promedios en la densidad estomática, se debe a que la densidad estomática varía con las condiciones ambientales, por lo que puede diferir entre plantas de la misma especie, entre hojas de la misma planta y entre sectores de una misma hoja; el clima tuvo un efecto directo de más del 30 % sobre la densidad estomática (Tian *et al.*, 2016).

La variación también se da de acuerdo al posicionamiento de la hoja, siendo que las hojas del tercio final presentan mayor densidad de estomas que las del tercio inicial, debido a la incidencia de la luz (Rodríguez *et al.*, 2016). Las hojas expuestas a la luz presentan estomas más pequeños y el parénquima en empalizada y esponjoso son de mayor grosor (García *et al.*, 2014).

Además se logró identificar estomas a lo largo de las nervaduras, caracterizados por tener mayor tamaño. Abo-Hamed *et al.* (1981), menciona que en hojas de 4 días de edad, los estomas se encuentran solo en las nervaduras centrales, las nervaduras laterales primarias y las venas menores, mientras que sólo las de las nervaduras centrales, están completamente desarrolladas y pueden abrirse.

Tian *et al.* (2016), indica que la maduración de los estomas se correlaciona con la presencia de clorofila en la hoja. Sin embargo, no se encontró correlación alguna entre la densidad de estomas y el área foliar. Esto es corroborado con los resultados de Tian *et al.* (2016), quienes tampoco encontró correlación alguna entre estas variables, es decir que no hay ninguna compensación en la densidad estomática por el incremento del área foliar.

La exposición al sol afectó al contenido de clorofila en el área foliar del cacao. En la presente investigación, la concentración de clorofila a y total en unidades de mg g^{-1} , fue mayor en hojas que estuvieron bajo sombra que en plantas expuestas a la radiación solar, independientemente de la fertilización, esto debido a que la baja disponibilidad de luz indujo a las células de las hojas a un incremento de la clorofila a fin de aumentar la capacidad de aprovechamiento de la luz y optimizar la fotosíntesis (Almeida y Valle, 2007).

Resultados que concuerdan con los hallazgos de Héctor *et al.* (2018), en ocho clones de cacao plantados bajo sombra parcial de árboles de *Guaba sp.*, en donde las hojas bajo sombra presentaron las medias más altas para contenido de clorofila total. Merkel *et al.* (1994), también afirman que las hojas de sombra exhiben mayores concentraciones totales de clorofila total, en comparación con hojas expuestas a pleno sol. La sombra regula la actividad fotosintética de las hojas, disponiendo de menores cantidades de enzimas como la rubisco, que interviene en el proceso, al mismo tiempo incrementan la producción de clorofila, captadores de luz (Agudelo *et al.*, 2018).

La relación de clorofila a/b también se vio afectada por la exposición del sol, debido a que la concentración de clorofila b se redujo, esto se corrobora con investigaciones realizadas por Blackhall (2019), en hojas de manzano expuestas a altas radiaciones solares, encontró que la relación de clorofila a/b es mayor, y Lichtenthaler *et al.* (2007) reportó valores bajos para la relación de clorofila a/b en hojas de plantas caducas y coníferas que se encontraban bajo sombra.

El pH inicial del área de cultivo fue de 5,3, valor que se encuentra dentro del rango reportado Carrillo *et al.* (2010) y Dostert *et al.* (2011). Además mencionan que las plantas de cacao toleran un pH de 5.0 a 7.5, por debajo de estos niveles se debe realizar un encalado del cultivo. Los factores sombra y nutrición tuvieron efecto al incrementar el pH, en general subió a valores medios de 6,4, aumentando 1,1 unidades. Además, se presume que el pH también se vio influenciado por los procesos de mineralización de los rastrojos del bosque que se encontraban en el área de cultivo. Según Quirós (2005), la mineralización de rastrojos en un año, puede llegar a incrementar 0,66 unidades de pH, además de incrementar el contenido de

materia orgánica del suelo, ácidos húmicos, mayor porosidad del suelo, e incluso aumenta la biomasa microbiana, con lo cual se disminuyen las pérdidas de los fertilizantes por lixiviación o volatilización.

Sánchez *et al.* (2003), argumenta que los valores de pH pueden variar durante cada momento de evaluación, debido al contenido de sales, actividad biológica en el suelo y estación del año (en épocas secas el pH disminuye y en invierno el pH aumenta). El pH en todos los tratamientos y durante todos los momentos de evaluación se encontró suelos ligeramente ácidos, con pH dentro del rango recomendado para el cacao, donde además la disponibilidad de macro y micronutrientes es óptima.

La conductividad eléctrica (CE) fue variable en cada tratamiento y durante todos los momentos de evaluación, aunque a partir de los 61 y 84 días de iniciado el ensayo la CE alcanzó valores de 1,20 y 1,31 mS cm⁻¹ en los tratamientos de sombra al 80 % (T2) y fertilización al 100 % (T3), respectivamente, llegando a tener suelos fuertemente salinos, a este incremento se le atribuye al alto contenido de materia orgánica que arrojó el análisis de suelo 11,49 %, además del aporte orgánico producto de la mineralización de los rastrojos, y por efecto de la fertilización inorgánica. Patrick (1985), indica que suelos con altos niveles de materia orgánica y/o cationes como Ca²⁺, K⁺, Na⁺, NH₄⁺ ó H⁺, elevan la CE.

6. CONCLUSIONES

- La fertilización durante la etapa vegetativa de cacao clon EETP-801, favorece el crecimiento de la planta, reflejándose respuestas positivas en los parámetros de altura de planta, área de la sección transversal del tronco y longitud de brote.
- El empleo de la fertilización incrementó el pH y la conductividad eléctrica del suelo, logrando alcanzar valores situados dentro del rango requerido para el crecimiento y desarrollo óptimo de plantas de cacao.
- La aplicación de sombra al 80 %, durante la etapa de crecimiento vegetativo de plantas de cacao clon EETP-801, aumenta el área foliar, el índice de área foliar y el número de estomas por mm^{-2} .
- No se evidenció efecto significativo de interacción entre los factores de sombra y fertilización, sobre ninguna de las variables evaluadas en la presente investigación. Sin embargo, se obtuvo una mayor concentración de clorofila total bajo el tratamiento combinado de sombra y fertilización, seguido por el tratamiento de sombra al 80 %.

7. RECOMENDACIONES

- Continuar con la investigación hasta que la plantación entre a fase productiva, con la finalidad de evaluar la fenología del cacao EETP 801 en cada tratamiento, y determinar si es conveniente o no mantener un sombreado constante.
- Analizar los contenidos bromatológicos a nivel foliar en diferentes estadios del cacao clon EETP 801 con la finalidad de determinar la translocación de los nutrientes.
- Realizar investigaciones sobre el comportamiento estomático en hojas expuestas a la radiación solar y bajo sombra.
- Al iniciar una investigación, realizar una fertilización base, además de incorporar los nutrientes que se encuentren en déficit, para evitar que los elementos del suelo limiten los efectos de los elementos en estudio.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Abo-Hamed, S., Collin, HA., y Hardwick, K. (1981). «Aspectos bioquímicos y fisiológicos del desarrollo de hojas en el cacao (*Theobroma cacao* L.). Interacción hormonal entre hojas maduras y ápice del brote.» *Nuevo Phytol* 89: 191-200.
- Acheampong, K., Hadley, y Daymond, A. (2013). «Photosynthetic activity and early growth of four Cacao genotypes as influenced by different shade regimes under West African dry and wet season conditions». *Agricultura Experimental* 49 (1): 31-42. <https://doi.org/10.1017/S0014479712001007>.
- Agudelo, G., Cadena, J., Almanza, P., y Pinzón, E. (2018). «Desempeño fisiológico de nueve genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo la sombra de tres especies forestales en Santander, Colombia.» *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 12 (1): 223-32. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2018v12i1.7341>.
- Alarcón, J., Arévalo, E., Jiménez, A., Galindo, J., y Rosero, A. (2012). «Manejo fitosanitario del cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.): Medidas para la temporada invernal.» Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). <https://www.ica.gov.co/getattachment/c01fa43b-cf48-497a-aa7f-51e6da3f7e96/->.
- Aldemar, M., Canacuan, R., y Franco, J. (2016). «Construyendo investigación: Semilleros generadores de ideas». *La Salle*, Determinación de los estados críticos de nutrientes de cacao en etapa de vivero, 3: 240.
- Almeida, A-A., y Valle, R. (2007). «Ecophysiology of the cacao tree». *Plant Physiol* 19 (octubre): 425-48.
- Alvim, PT, y Koslowski, TT. (1977). «Ecofisiología de los cultivos tropicales.» *Academic Press*, 279-313.
- Amores, F. (1992). «Clima, suelo, nutrición y fertilización de cultivos en el Litoral ecuatoriano». *Estación Experimental Tropical Pichilingue* 26: 43.

- ANECACAO. (2017). «ANECACAO: 30 años dejando en alto el nombre del cacao ecuatoriano». Vive Editores. <http://www.anecacao.com/uploads/magazine/12-sabor-arriba-junio-2017.pdf>.
- Arvelo, M., González, D., Maroto, S., Delgado, T., y Montoya, P. (2017). «Manual Técnico del cultivo de cacao: Buenas prácticas para América Latina». Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- BCE. (2019). «Reporte de coyuntura. Sector Agropecuario». Banco Central de Ecuador (BCE).
<https://contenido.bce.fin.ec/documentos/PublicacionesNotas/Catalogo/Encuestas/Coyuntura/Integradas/etc201804.pdf>.
- Bertolde, F., Almeida, A-F., Pirovani, C., Gomes. F., Ahnert, D., Baligar, V., y Valle, R. (2012). «Physiological and biochemical responses of *Theobroma cacao* L. genotypes to flooding» 50: 447-57. <https://doi.org/10.1007/s11099-012-0052-4>.
- Blackhall, V. (2019). «Estrés por alta radiación solar en plantas de manzano (*Malus domestica* Borkh.): estudio del proceso de fotoquímica, estrés fotooxidativo y la influencia del estatus nutricional.» Tesis de doctorado en Agronomía, Argentina: Universidad Nacional del Sur.
<http://200.49.237.216/bitstream/123456789/4567/1/Tesis%20Doctorado%20UNS%20V-Blackhall.pdf>.
- Carrillo, M., Recalde, M., y Sánchez, J. (2010). «Manejo de la nutrición del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), tipo Nacional y CCN-51 en la etapa de establecimiento». Universidad Tecnológica Equinoccial. Campus Santo Domingo.
- Castro, M., Hernández, J., Marcilla, S., Córdova, J, Solari, F., y Chire, G. (2016). «Efecto del contenido de grasa en la concentración de polifenoles y capacidad antioxidante de cacao (*Theobroma cacao* L.)». *Ciencia e Investigación* 19: 19-23.
- Dostert, N., Roque, J., Cano, C., La Torre, M., y Weigend, M. (2011). «Datos botánicos de cacao (*Theobroma cacao* L.)». Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

- 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.
- «Ecuador preside la Organización Internacional de cacao (ICCO)». s. f. <http://www.iniap.gob.ec/pruebav3/ecuador-preside-la-organizacion-internacional-del-cacao-icco/>.
- Encinas, J., Bandini, A, Vieira da Silva, I., Gomes, M., y da Silva, J. (2017). «Análisis de la influencia de la luz en aspectos anatómicos de hojas de *Theobroma speciosum* Willd. ex. Spreng. (Malvaceae)». *Ciencia Forestal* 27 (3): 843-51. <https://doi.org/10.5902/1980509828634>.
- Enríquez, G. (1985). *Curso sobre el cultivo de cacao*. Turrialba. Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Enríquez, G. (2010). «Cacao Orgánico: Guía para productores ecuatorianos». INIAP.
- Fontenelle, G., Gomes, D., y Machado, R. (1993). «Anatomía de la hoja de *Gomidesia martiana* Berg. y *G. fenziliana* Berg. (Myrtaceae)». *Revista Brasileña de Botánica* 16 (1): 17-30.
- Furcal, P. (2018). Fertilización del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en un cantón de la región Huetar Norte de Costa Rica. [Postgrado]. Instituto Tecnológico de Costa Rica, sede San Carlos.
- García, J. (2014). «Caracterización de las respuestas fisiológicas y bioquímicas en tres clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) sometidos a diferentes niveles de déficit hídrico.» Tesis de doctorado, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. <http://bdigital.unal.edu.co/46575/1/07797033.2014.pdf>.
- García, T., Potiguara, R., Kikuchi, T., Demarco, D., y Aguiar, A. (2014). «Características anatómicas de las hojas de tres especies de *Theobroma* (Malvaceae sl) nativas de la Amazonía brasileña». *Acta Amazonica* 44 (3): 291-300. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201300653>.

- Gil-Restrepo, J., Leiva, E., y Ramírez, R. (2017). «Phenology of cacao tree in a tropical moist forest». *Científica* 45 (3): 240-52. <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2017v45n3p240-252>.
- Gockowski, J., y Sonwa, D. (2010). «Cocoa Intensification Scenarios and Their Predicted Impact on CO2 Emissions, Biodiversity Conservation, and Rural Livelihoods in the Guinea Rain Forest of West Africa». *Environmental Management* 48 (diciembre): 307-21. <https://doi.org/10.1007/s00267-010-9602-3>.
- Greathouse, D.C., Laetsch, W.M., y Phinney, B.O. (1971). «The Shoot-Growth Rhythm of a Tropical Tree, *Theobroma cacao*». *American Journal of Botany* 58 (4): 281-86. <https://doi.org/10.2307/2441407>.
- Héctor, E., Torres, A., Fosado, O., Ávala, J., Sancán, G., y León, R. (2018). «Contenido de clorofilas totales en doce clones de cacao (*Theobroma cacao* L.)». *Revista de las Agrociencias. La Técnica*, n.º 20: 11-18.
- Jadin, P., y Snoeck, J. (1985). La méthode du diagnostic sol pour calculer les besoins en engrais des cacaoyers. *Café Cacao Thñe*, 4(29), 1255-1272.
- Jaimez, R., Amores, F., Vasco, A., Loor, R., Tarqui, O., Quijano, G., Jimenez, J., y Tezara, W. (2018). «Photosynthetic Response to Low and High Light of Cacao Growing without Shade in an Area of Low Evaporative Demand». *Acta Biológica Colombiana* 23 (1): 95-103. <https://doi.org/10.15446/abc.v23n1.64962>.
- Jaimez, R., Tezara, W., y Coronel, I. (2008). «Ecofisiología del cacao (*Theobroma cacao* L.): su manejo en el sistema agroforestal. Sugerencias para su mejoramiento en Venezuela», 6.
- Leiva, E. I., y Ramírez, R. (2017). «Acumulación y extracción de nutrientes en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.)». *International Cacao Organization. International Symposium on cacao research (ISCR)*, noviembre.
- Lichtenthaler, H., Ac. A., Marek, M., Kalina, J., y Urban, O. (2007). «Differences in pigment composition, photosynthetic rates and chlorophyll fluorescence images of sun and

- shade leaves of four tree species». *Fisiología y Bioquímica Vegetal* 45 (8): 577-88.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2007.04.006>.
- Loayza Ramos, F., y Zabala, J. (2018). «Análisis de la cadena productiva del cacao ecuatoriano para el diseño de una política pública que fomente la productividad y la eficiencia de la producción cacaotera período 2007-2016». Previo a la obtención del título de Economista, Quito. Ecuador.: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- 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, M. y Mendoza, A. (2011). «Programa estratégico para el desarrollo rural sustentable de la Región Sur-Sureste de México: Trópico Húmedo 2011. Paquete Tecnológico cacao (*Theobroma cacao* L.)». Centro de Investigación Regional - Golfa Centro.
- Mackinney, G. (1941). «Absorption of light by chlorophyll solutions», 315-22.
- Martínez, A., y Enríquez, G. (1984). «Efectos fisiológicos de la sombra sobre el cacao.» Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Mejía, C., Castro, M., Carvajal, L., Castrillón, H., y Puerta, N. (2017). «Agroindustria del cacao». Sistema de investigación, desarrollo Tecnológico e Investigación. SENNOVA.
- Merkel, U., Müller, MW., Serrano-Minar, P., y Biehl, B. (1994). «Influencia de la intensidad de la luz en las características del aparato fotosintético del árbol de cacao (*Theobroma cacao* L.) durante el desarrollo foliar.» *Int. Cacao Res. Conf., Yamoussoukro* 11: 645-53.
- Moreno, R. (1965). «Algunos aspectos de la fertilización en cacao (*Theobroma cacao* L.) con observaciones preliminares sobre su respuesta a la aplicación de tres elementos mayores al suelo.»

- Motamayor, J. (2001). «Etude de la diversité génétique et de la domestication des cacaoyers du groupe Criollo (*Theobroma cacao* L.) à l'aide de marqueurs moléculaires.» *Agritrop*, 179.
- Nakayama, L., Soares, MK., y Appezzato-Da, G. (1996). «Contribuição ao estudo anatômico da folha e do caule do cacauero (*Theobroma cacao* L.)». *Scientia Agricola* 53 (1). <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90161996000100010>.
- Niemenak, N., Cilas, C., Rohsius. C., Bleiholder, H., Meier, U., y Lieberei, R. (2009). «Phenological growth stages of cacao plants (*Theobroma* sp.): codification and description according to the BBCH scale». *Annals of Applied Biology*, diciembre. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00356.x>.
- Pacheco, M., García, P., y Pombal, M. (2020). «Inclusión del parafinado». Atlas de histología vegetal y animal. *Técnicas histológicas* (blog). 2020. <https://mmegias.webs.uvigo.es/6-tecnicas/3-parafina.php>.
- Paredes, N. (2009). «Manual de cultivo de cacao para la Amazonía Ecuatoriana.» INIAP (Estación Experimental Central de la Amazonía).
- Paspuel, M. (2018). «Respuesta del cacao a la aplicación del fertilizante “Full cacao” en comparación con la fertilización convencional en Pangua». Previo a la obtención de título de Ingeniero Agrónomo, Quito. Ecuador.: Universidad Central del Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15195/1/T-UCE-0004-A82-2018.pdf>.
- Patrick, F. (1985). *Suelos en formación, clasificación y distribución*. Editorial Continental S. A.
- Puentes, Y., Menjivar, J., y Aranzazu, F. (2015). «Concentración de nutrientes en hojas, una herramienta para el diagnóstico nutricional en cacao». *Agronomía Mesoamericana* 27 (2): 329-36. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v27i2.19728>.
- Quiñones, J., Sosa, D., Demey, J., Alemán, S., Sosa, M., Parra, D., Móvil, O., *et al.* (2015). «Caracterización bioquímica de hojas de clones de *Theobroma cacao* y su relación

- con los tricomas». *Revista Colombiana de Biotecnología* 17 (2): 33-43.
<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v17n2.54265>.
- Quirós, R. (2005). «El efecto de la siembra directa sobre rastrojos en el contenido de nitrógeno disponible para el cultivo en un agroecosistema arrocero inundado.» Doctorado en Sistemas de Producción Agrícola Tropical Sostenible, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Quiroz, J. (2010). «Sistema de sombra de cacao con maderables». INIAP- Estación Experimental Litoral Sur.
- Raja, R., y Kamariah, I. (1983). «Los efectos de los regímenes de sombreado en el crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.)». *Pertanika* 6 (3): 1-5.
- Rodés, R., y Collazo, M. (2006). «Manual de prácticas de Fotosíntesis». Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rodríguez, L., Guevara, F., Gómez, H., Fonseca, M., Gómez, J., y Pinto, R. (2016). «Anatomía foliar relacionada con la ruta fotosintética en árboles de café (*Coffea arabica* L., var. Caturra Rojo) expuestos a diferentes niveles de radiación solar en la Sierra Maestra, Granma, Cuba.» *Acta Agronómica* 63 (3): 248-54.
<https://doi.org/10.15446/acag.v65n3.46731>.
- Rúales, J., Burbano, H., y Ballesteros, W. (2011). «Efecto de la fertilización con diversas fuentes sobre el rendimiento de cacao (*Theobroma cacao* L.)». *Revista de Ciencias Agrícolas* 28 (2): 81-94.
- Sánchez, R., Palma, D., Obrador, J., y López, U. (2003). «Efectos de los rastrojos sobre las propiedades físicas y químicas de un suelo vertisol y rendimientos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en Tabasco, México.» *Interciencia* 28 (7): 404-407.
- Somarriba, E. (2004). «¿Cómo evaluar y mejorar el dosel de sombra en cacaotales?» *Agroforesteria en las Américas*, 122-30.
- Steele, M., Gitelson, A., y Rundquist, D. (2008). «A comparison of two techniques for nondestructive measurement of chlorophyll content in grapevine leaves». *Agronomy Journal* 100 (3): 779-82.

- Tanaka, R., y Tanaka, A. (2000). «Chlorophyll b is not just an accessory pigment but a regulator of the photosynthetic antenna.» *Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University* 9: 240-45.
- Tian, M., Yu, G., He, N., y Hou, J. (2016). «Características morfológicas y anatómicas de las hojas de los bosques de coníferas tropicales a templados: mecanismos y factores que influyen». *Scientific Reports* 6: 1-10. <https://doi.org/10.1038/srep19703>.
- Thomas, B., Murray, B., y Murphy, D. (2016). *Encyclopedia of applied plant sciences* (2.^a ed.). Academic Press.
- Thong, K. C. (1978). Growth and nutrient composition of monocrop cocoa plants on inland Malaysian soils. pp. 262-286.
- Zambrano, J. (2017). «Relaciones filogenéticas entre tipos de cacao (*Theobroma cacao* L.): forastero, trinitario y nacional, basadas en marcadores morfológicos y secuencias nucleotídicas de la región ITS; y su posible uso en la identificación de clones.» Previo a la obtención de título de Ingeniero Agropecuario, Quevedo. Los Ríos. Ecuador: Universidad Técnica Estatal de Quevedo. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/2722/1/T-UTEQ-0088.pdf>.
- Zivcak, M., Brestic, M., y Kalaji, HM. (2014). «Photosynthetic responses of sun- and shade-grown barley leaves to high light: is the lower PSII connectivity in shade leaves associated with protection against excess of light?» *Photosynth Res* 119: 339-54. <https://doi.org/10.1007/s11120-014-9969-8>.

9. ANEXOS

9.1. Anexo 1. Operacionalización de Variables

Variable	Definición	Unidad de medida	Instrumento de medida	Frecuencia	
Variables morfológicas y de crecimiento vegetativo	Altura de planta	Es la medida desde el sitio de injerto de la planta hasta el ápice	cm	Cinta métrica	Frecuencia aproximada de 20 días
	Área de sección transversal del tronco (ASTT).	Es la medida perimetral del tronco a 3 cm sobre el sitio de injerto	cm ²	Cinta métrica	Al inicio y al final del ensayo
	Longitud del brote	Medida del crecimiento longitudinal, tomado desde la base hasta el ápice del brote. Se seleccionarán 4 brotes/planta, posicionadas en el tercio medio de la altura de la planta.	cm	Cinta métrica	Frecuencia aproximada de 20 días
	Longitud y número de metámeros	En los brotes seleccionados, se contará el número de entrenudos y en base a su longitud total, por división, se obtendrá una longitud promedio de metámero en el brote	Número. cm	Cinta métrica	Al final del ensayo
	Área foliar	Medición de largo y ancho de 20 hojas tomadas al azar	cm ²	Cinta métrica y luego con la ayuda de fotografía y software photoshop	Al final del ensayo
	Concentración de clorofila	Es la concentración de clorofila relativa sobre un área de hoja.	ml/g	Espectrometría	Al final del ensayo
	Índice de área foliar	Es la relación entre el área foliar total y la superficie del suelo que ocupa dicha área.	Expresión numérica adimensional, expresada en m ²	IAF= Área foliar / superficie del suelo	Al final del ensayo
Variables anatómicas	Estructura anatómica de la hoja	Corresponde a la medición del grosor de la lámina foliar.		Uso de microscopio	Al final del ensayo
	Densidad estomática	Corresponde al número de estomas encontrada en un área determinada de la hoja.	Nº de estomas/mm ²	Uso de microscopio	Al final del ensayo.
pH del suelo	Corresponde al grado de acidez o alcalinidad del suelo	Escala que va de 0 a 14	PHmetro	Frecuencia aproximada de 20 días	
Conductividad eléctrica	Corresponde a la concentración de sales solubles presentes en la solución suelo	Siemens/cm (S/cm)	Conductivímetro	Frecuencia aproximada de 20 días	

9.2. Anexo 2. Cálculo para la fertilización de base.

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 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:

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

$$DC = 42 Kg/ha$$

Las dosis de corrección, se las aplicará de forma fraccionada en un periodo de 84 días.

$$42 \text{ unidades de S} \times \frac{714 \text{ plantas}}{1 \text{ planta}} = 0,0588 Kg = 58,8 g$$

$$S(g/planta) = \frac{58,8}{4} = 14,7$$

Los fertilizantes se las fraccionaron para cuatro dosis, aplicándolos con una frecuencia aproximada de 20 días

Dosis de corrección del Boro

Datos:

Cant. elemento disponible: 0,10 ppm

Óptimo: 0,5 ppm

Fórmulas:

$$Déficit = Óptimo - Disponible$$

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

Desarrollo:

Déficit:

$$Déficit = 0,5 \text{ ppm} - ,1 \text{ ppm}$$

$$Déficit = 0,4 \text{ ppm}$$

Dosis de corrección:

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

$$DC = 4 \text{ Kg/ha}$$

Las dosis de corrección, se las aplicará de forma fraccionada en un periodo de 84 días.

$$4 \text{ unidades de S} \quad \frac{714 \text{ plantas}}{1 \text{ planta}} = 0,0056 \text{ Kg} = 5,60 \text{ g}$$

$$S(\text{g/planta}) = \frac{5,60}{4} = 1,4$$

b.) Cálculo de fertilizantes para cacao (Etapa Vegetativa):

Requerimientos nutricionales en etapa vegetativa:

Elemento	Requerimiento (Kg/ha)	Requerimiento (kg/12 plantas)	Requerimiento (g/planta)	Adicional para corrección (g/planta)
Nitrógeno	136	2,29	190,83	
Fósforo	14	0,24	20	
Potasio	156	2,62	218,33	
Magnesio	47	0,79	65,83	
Calcio	113	1,90	158,33	
Boro				58,8
Azufre				5,60

Cálculo de los fertilizantes:

- **DAP (18-46-0):** Concentración de 18% de N y 46% de P.

$$100 \text{ kg DAP} \quad \frac{46 \text{ kg P}}{0,24 \text{ kg P}} = 0,52 \text{ kg de DAP (No considero el aporte de N)}$$

- **Nitrato de Calcio:** Concentración de 26% de Ca y 15% de N.

$$100 \text{ kg Ca(NO}_3)_2 \quad \frac{26 \text{ kg Ca}}{1,90 \text{ kg Ca}} = 7,31 \text{ kg de Ca(NO}_3)_2$$

Aporte de nitrógeno:

$$\frac{100 \text{ kg Ca(NO}_3)_2}{7,31 \text{ kg Ca(NO}_3)_2} \quad \frac{15 \text{ kg N}}{?} = 1,10 \text{ de N}$$

$$3,43 \text{ kg N} - 1,10 \text{ kg N} = 2,3 \text{ kg N (Faltante)}$$

- **Nitrato de Amonio:** Concentración de 33% de N.

$$100 \text{ kg NH}_4\text{NO}_3 \quad \frac{33 \text{ kg N}}{2,3 \text{ kg N}} = 6,97 \text{ kg de NH}_4\text{NO}_3$$

- **Muriato de Potasio:** Concentración de 60% de K.

$$\begin{array}{rcl} 100 \text{ kg } NH_4NO_3 & 60\text{kg K} & \\ ? & 2,62\text{kg K} & = 4,37\text{kg de Muriato de K} \end{array}$$

- **Sulfato de Magnesio:** Concentración de 16% de Mg y 13% de S.

$$\begin{array}{rcl} 100 \text{ kg } MgSO_4 & 16\text{kg Mg} & \\ ? & 0,79\text{kg Mg} & = 4,94 \text{ kg } MgSO_4 \end{array}$$

Aporte de azufre:

$$\begin{array}{rcl} 100 \text{ kg } MgSO_4 & 13\text{kg S} & \\ 4,94 \text{ kg } MgSO_4 & ? & = 0,64 \text{ de S} \end{array}$$

$$0,71\text{kg S} - 0,64\text{kg S} = 0,07\text{kg S (Faltante)}$$

Para suplir las necesidades de Mg y S se compró 5,2 kg de $MgSO_4$

- **Ácido Bórico:** Concentración de 17,5% de B.

$$\begin{array}{rcl} 100 \text{ kg } H_3BO_3 & 17,5\text{kg B} & \\ ? & 0,067\text{kg B} & = 0,38\text{kg } H_3BO_3 \end{array}$$

Tabla de fertilizantes.

Fertilizante	Kg/12 plantas	Kg/planta	Gramos / planta	Gramos/aplicación
18-46-0	0,52	0,043	43	10,75
Nitrato de Calcio	7,31	0,61	610	152,5
Nitrato de Amonio	6,97	0,58	580	48,3
Muriato de Potasio	4,37	0,36	360	90
Sulfato de Magnesio	5,2	0,43	430	35,83
Ácido Bórico	0,38	0,032	32	2,67

9.3. Anexo 3. Correlación de variables fisiológicas y morfológicas del cacao clon EETP 801.

Variable(1)	Variable(2)	n	Pearson	p-valor
ASTT-Patrón	ASTT-Vareta	24	0,70	0,0002
	Altura de planta	12	0,78	0,0030
Long. Brote	Long de metámeros	12	0,58	0,0467
	N° de metámeros	12	0,75	< 0,0001
Área foliar de la planta	Índice de Área foliar	12	0,99	< 0,0001
Clorofila total	Clorofila A	12	0,96	< 0,0001
	Clorofila B	12	0,95	< 0,0001
Clorofila B	Clorofila A	12	0,82	0,0012
Área foliar del brote	Long. de brote	12	0,07	0,8341
	Long. de metámero	12	-0,09	0,7715
	Número de metámeros	12	0,37	0,2315
	Densidad estomática (mm ²)	12	0,13	0,6907
	Clorofila total (ml/g)	12	0,22	0,4927
	Clorofila A	12	0,07	0,8324
	Clorofila B	12	0,36	0,2500
Long. brote	Clorofila A (ml/g)	12	-0,13	0,6961
	Clorofila B (ml/g)	12	0,05	0,8850
Altura de planta (cm)	Índice de área foliar	12	0,41	0,1851
	Área foliar de planta	12	0,01	0,9858
	ASTT-Vareta	12	0,41	0,1851
	Área foliar planta	12	0,01	0,9858
Índice de área foliar	ASTT-Patrón	12	0,58	0,0495
	ASTT-Injerto	12	0,75	0,0046
	Área foliar del brote	12	-20	0,5421
	Densidad estomática	12	0,01	0,9864
CE	Contenido de clorofila total	12	-0,08	0,8078
	Clorofila total	12	0,77	0,0037
	Clorofila A	12	0,70	0,0105
	Clorofila B	12	0,76	0,0043
ASST-Patrón	AST-Vareta	12	0,43	0,1613

9.4. Anexo 4. Fenología del cacao.

Descripción de las fases del estado de desarrollo principal 0: germinación – propagación vegetal (Castro *et al.*, 2016).

Código		Descripción (Reproducción sexual / Reproducción asexual)
2° dígito	3° dígito	
00	000	Semillas frescas / Esquejes ortotrópicos con cuatro o cinco hojas medio cortadas.
01	001	Imbibición de semillas/cortes plantados, aún no hay callo visible.
02		Aparece la protuberancia de la radícula a través de la capa de la semilla / La formación del callo comienza en los esquejes ortotrópicos. Emergencia.
03	009	Hipocotilo visible, alargamiento de la radícula / Inicio 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 y 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.

Descripción del estadio principal 1: desarrollo de las hojas en el brote principal de la planta joven y en las ramas de abanico (Castro *et al.*, 2016).

Código		Descripción
2° dígito	3° dígito	
10	100	Despliegue completo del cotiledón. Las estípulas que rodean el brote terminal en el brote principal o las ramas en abanico se separan y el brote se hincha.
	110	La hoja se despliega en la primera descarga, mostrando un color verde pálido o rojo.
11	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 (100 %).
12	120	Formación de la segunda hoja para un nuevo flush. Hojas 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 flush completamente maduros.

Descripción de la etapa de crecimiento principal 2: elongación del tallo principal, formación de horquetas en la rama de abanico y chupón (Castro *et al.*, 2016).

Código		Descripción
2° dígito	3° dígito	
20	200	El brote derivado de la planta de semillero muestra un 10 % de crecimiento
	202	Crecimiento del brote en un 20 %.
	203	Crecimiento del brote en un 30 %.
	205	Crecimiento del brote en un 50 %.
	209	El brote alcanza su madurez fisiológica y el crecimiento de su meristema apical se detiene.
21	210	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 meristema 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 meristema apical se detiene.
23	230	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 meristema apical se detiene.
29	290	Formación de una novena o más horquetas y posteriormente una novena o más chupones.
	291	La novena o más chupón aparece bajo la novena horquita con un 10 % de crecimiento.
	292	Noveno o más chupón con un 20 % de crecimiento.
	293	Noveno o más chupón con un 30 % de crecimiento.
	295	Noveno o más chupón con un 50 % de crecimiento.
	299	El último chupón alcanza su madurez fisiológica y el crecimiento de su meristema apical se detiene.

Descripción del estadio principal 3: alargamiento de la rama de abanico (Niemenak *et al.*, 2009).

Código		Descripción
2° dígito	3° dígito	
31	301	Horqueta de ramas de abanico primario visible.
32	302	Rama de ventilador primario con 20 ramas de ventilador secundario.
35	305	Rama de ventilador primario con 50 ramas de ventilador secundario.
39	309	Rama de ventilador primario con 90 o más ramas de ventilador secundario.

Descripción del estadio principal 5: emergencia de la inflorescencia (Niemenak *et al.*, 2009).

Código		Descripción
2° dígito	3° dígito	
51	501	Capullos de flores visibles (capullos primordiales 150 µm de ancho)
52	502	Los capullos de las flores se expandieron, aparición del primordio sepal (capullo de <1 mm de largo)
55	505	Los capullos florales se expanden, los sépalos encierran el capullo (capullo de 1-2 mm de largo)
56	506	Brote floral expandido, aparición del pedículo (brote de 2-3 mm de largo)
58	508	Capullo floral expandido, el capullo pasa de verde a blanco (capullo de 2-4 mm de largo).
59	509	Crecimiento completo del capullo floral (capullos de 6 mm de longitud y 3 mm de tamaño; pedículo de 14 mm), capullos todavía cerrados.

Descripción del estadio principal 6: floración (Niemenak *et al.*, 2009).

Código		Descripción
2° dígito	3° dígito	
60	600	Primeras flores abiertas.
61	601	Inicio de la floración.
62	602	10 % de flores abiertas.
65	605	50 % de flores abiertas.
69	609	90 % de flores abiertas.

Descripción de la fase de crecimiento y desarrollo principal 7: desarrollo del fruto (Niemenak *et al.*, 2009).

Código		Descripción
2° dígito	3° dígito	
70	700	Los frutos son visibles en el tallo principal o las ramas.
71	701	Comienzo del crecimiento de los frutos. Multiplicación celular en el endospermo, desarrollo del óvulo y del pericarpio. Inicia la fase de marchitamiento de la cherelle. Los frutos han alcanzado el 10 % del tamaño final (cigoto inactivo).

72	702	División del cigoto y desarrollo preliminar del embrión. Los frutos se hinchan. Los frutos han alcanzado el 20 % del tamaño final.
75	705	Fin de la fase de marchitamiento de la cherelle. Los frutos han alcanzado el 50 % del tamaño final.
76	706	Ovulo lleno de gelatina como el endospermo. Las frutas han alcanzado el 60 % del tamaño final.
77	706	Grasa, proteínas de almacenamiento y antocianinas acumuladas en los cotiledones. El endospermo es gradualmente reabsorbido por el embrión. Las frutas han alcanzado el 70% del tamaño final.
79	709	Los embriones están completamente desarrollados, sólo quedan rastros de endospermo alrededor de los cotiledones carnosos. El aumento de la dimensión externa de los frutos cesa. Los frutos han alcanzado el 90% del tamaño final.

Descripción de las fases del ritmo de crecimiento de los brotes de *Theobroma cacao* L. (Greathouse *et al.*, 1971).

Fase	Característica	Duración (días ± S.E.)
Flushig 1 (F1)	Las estípulas que rodean las yemas terminales se separan de la yema.	10,4 ± 1,0
Flusing 2 (F2)	Las hojas se expanden y el tallo se alarga (10,9 ± 2 cm/descarga)	11,9 ± 0,7
Inter-flush 1 (I1)	La expansión de las hojas y el alargamiento del tallo terminan, se forman yemas terminales inactivas, las hojas de un nuevo brote reverdecen.	20,6 ± 2,0
Inter-flush 2 (I2)	Brote latente, sin expansión de hojas ni alargamiento del tallo, hojas expandidas y de color verde oscuro, tallo verde.	16,4 ± 1,0
Inter-flush 3 (I3)	Se desarrolla el floema y el tallo se vuelve marrón	6,5 ± 1,0

9.5. Anexo 5. Estimativo de la cantidad de nutrientes absorbidos por plantas de cacao en diferentes estados de desarrollo (Thong, 1999).

Estado de la planta	Edad de la planta (meses)	Requerimiento nutricional medio en Kg/ha						
		N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn
Vivero	5 – 12	2,4	0,6	2,4	2,3	1,1	0,04	0,01
Establecimiento	28	136	14	156	113	47	3,9	0,5
Inicio de la producción	39	212	22	321	140	71	7,1	0,9
Plena producción	50 - 87	438	48	633	373	129	6,1	1,5

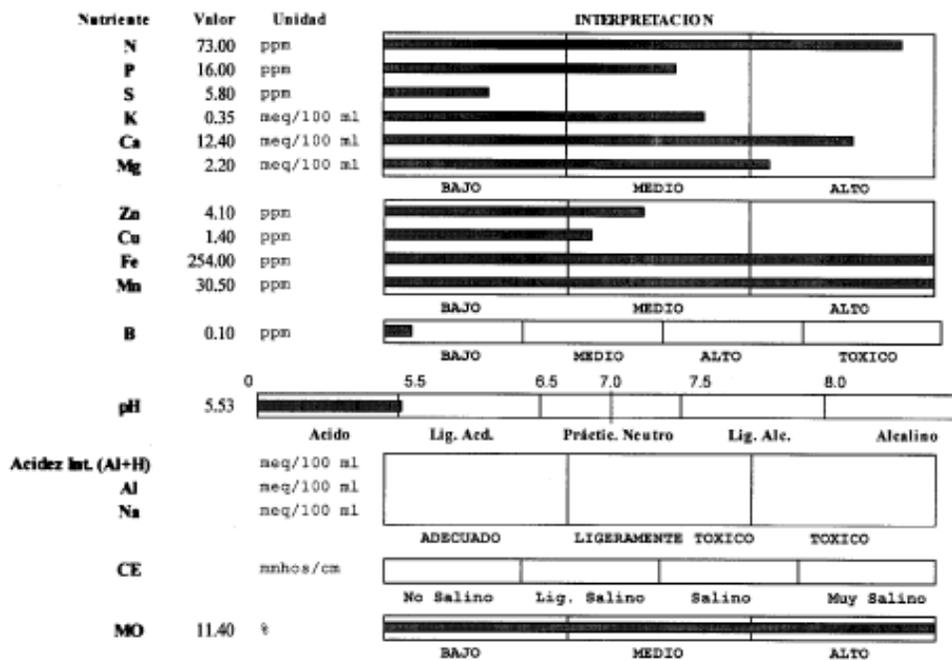
9.6. Anexo 6. Análisis de suelo.

RIM-0032. 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



Ca	Mg	Ca+Mg	(meq/100ml)		ppm	(%)	
Mg	K	K	Σ Bases		Cl	Arena	Limo
5,6	6,3	41,7	14,9			41	30
							29
						Clase Textural	
						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		DATOS DE LA PROPIEDAD		PARA USO DEL LABORATORIO	
Nombre	: Paola Daniela Godoy	Nombre	: Universidad Estatal De Loja	No. Muestra Lab.	: 20-0498
Dirección	: Loja	Provincia	: Loja	Fecha de Muestreo	: 10/01/2020
Ciudad	:	Cantón	:	Fecha de Ingreso	: 17/01/2020
Teléfono	: 0991255042	Parroquia	:	Fecha de Salida	: 28/01/2020
Fax	:	Ubicación	:		

No. Muestra Lab.	Identificación de la muestras	meq/100 g suelo					Suma de bases	Saturación de bases	meq/100 g suelo CIC
		K	Ca	Mg	Na	%			
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




 LABORATORISTA