



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja
Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agronómica

**Influencia de dos niveles de sombra y fertilización sobre
parámetros morfofisiológicos en plantas de cacao
(*Theobroma cacao* L.) clon EETP-801 en el sector “El
Pادمي”, provincia de Zamora Chinchipe.**

**Trabajo de Titulación previa a la obtención
del título de Ingeniero Agrónomo**

AUTOR:

Elías Joel Jiménez Jiménez

DIRECTORA:

Dra. Marlene Lorena Molina Müller, PhD.

Loja – Ecuador

2022

CERTIFICADO

Dra. Marlene Lorena Molina Müller, *PhD.*

DIRECTORA DE TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado la tesis realizada por el señor egresado de la carrera de ingeniería agronómica, estudiante **ELÍAS JOEL JIMÉNEZ JIMÉNEZ** autor del trabajo de titulación titulado: **“Influencia de dos niveles de sombra y fertilización sobre parámetros morfofisiológicos en plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP-801 en el sector “El Pادمي”, provincia de Zamora Chinchipe”**, la misma que es parte de los requisitos exigidos por la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, por lo que autorizo su presentación a las instancias correspondientes, para proseguir con los trámites que conllevan a su titulación.

Loja, 30 de marzo del 2022



Dra. Marlene Lorena Molina Müller, *PhD.*

DIRECTORA DE TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTORÍA

Yo, Elías Joel Jiménez Jiménez, declaro ser el autor del presente TRABAJO DE TITULACIÓN, 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:

Autor: Elías Joel Jiménez Jiménez

Cédula de identidad: 1106077843

Fecha: 12 de junio 2022

Correo electrónico: jimeliasjoe55@gmail.com

Celular: 0993087721

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

Yo, Elías Joel Jiménez Jiménez, declaro ser el autor del trabajo de titulación titulado: **“Influencia de dos niveles de sombra y fertilización sobre parámetros morfofisiológicos en plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP-801 en el sector “El Padmi”, provincia de Zamora Chinchipe”**, como requisito para optar al título de Ingeniero Agrónomo, por lo que autorizo al sistema bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja, para que con fines académicos muestre el contenido en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden hacer uso del presente trabajo de investigación en el RI, en las redes de información del país y del exterior. La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de autorización, en la ciudad de Loja, a los doce días del mes de julio del dos mil veintidós, firma el autor:

Firma:

Autor: Elías Joel Jiménez Jiménez

Número de cédula: 1106077843

Dirección: Parroquia Amaluza, Cantón Espíndola, Provincia de Loja

Correo Electrónico: jimeliasjoe55@gmail.com

Celular: 0993087721

DATOS COMPLEMENTARIOS

Directora del trabajo de titulación: Dra. Marlene Lorena Molina Müller, *PhD.*

Tribunal de grado:

Mg. Sc. Paulina Vanesa Fernández Guarnizo **Presidenta**

PhD. Alex Eduardo Salazar González **Vocal**

PhD. Jorge Isaac Armijos Rivera **Vocal**

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres Luz Marina Jiménez Ávila y Manuel Rosario Jiménez por su apoyo y amor incondicional, por ser el ejemplo y motivación en todas las etapas de mi vida.

A mis hermanos, familiares y maestros.

Elías Joel Jiménez Jiménez

AGRADECIMIENTO

Mis agradecimientos sinceros a mis padres, hermanos y familiares por aportar en mi formación profesional, por formar parte de mi crecimiento personal a través de sus ejemplares y nobles enseñanzas, fruto de ello presumo mis valores y responsabilidad.

Mi agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja, por permitirme ser parte de esta noble institución, de manera especial a usted Dra. Marlene Molina Müller, que con su sabiduría, experiencia y amplios conocimientos se convirtió en la guía de formación personal, profesional y de elaboración del presente trabajo, 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”

Finalmente me disculpo con todas las personas que no menciono, pero su huella está siempre presente.

Elías Joel Jiménez Jiménez

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA.....	iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
1. TÍTULO.....	1
2. RESUMEN.....	2
2.1 ABSTRACT.....	3
3. INTRODUCCIÓN.....	4
4. MARCO TEÓRICO.....	5
4.1 Origen y domesticación del cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.).....	5
4.2 Taxonomía del cacao.....	6
4.3 Morfología del cacao.....	6
4.3.1 Raíces.....	6
4.3.2 Tronco.....	6
4.3.3 Hojas.....	7
4.3.4 Inflorescencias.....	7
4.3.5 Flores.....	7
4.4 Tipos de cacao.....	8
4.4.1 Clon EETP-801.....	8
4.4.2 Clon EETP-800.....	9
4.4.3 Clon CCN-51.....	9
4.5 Fenología del cacao.....	10
4.6 Condiciones para el cultivo de cacao.....	10
4.6.1 Condiciones climáticas.....	10
4.6.2 Condiciones edáficas.....	10
4.7 Nutrición en cacao.....	11
4.8 Sombra en cacao.....	12
4.8.1 Acción de la luz.....	12
4.9 Sombra y nutrición en cacao.....	13
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
5.1 Área de estudio.....	14
5.2 Manejo del experimento.....	14

5.3	Material vegetal.....	15
5.4	Análisis de suelo.....	15
5.5	Diseño experimental.....	15
5.5.1	Aplicación de los tratamientos.....	16
5.5.2	Diseño en campo de los tratamientos.....	18
5.6	Variables.....	19
5.6.1	Altura de la planta.....	19
5.6.2	Área de la sección transversal del tronco (ASTT).....	19
5.6.3	Índice de área foliar (IAF).....	19
5.6.4	Diámetro de copa.....	19
5.6.5	Longitud de brote.....	20
5.6.6	Tasa de crecimiento absoluta (TCA) y tasa de crecimiento relativa (TCR).....	20
5.6.7	Concentración de clorofila.....	20
5.6.8	Estructura anatómica de las hojas.....	21
5.6.9	Densidad estomática.....	21
5.6.10	Determinación de pH y conductividad eléctrica del suelo.....	22
5.7	Análisis estadístico.....	22
6.	RESULTADOS.....	23
6.1	Altura de la planta.....	23
6.2	Área de la sección trasversal del tronco (ASTT).....	24
6.3	Índice de área foliar (IAF).....	25
6.4	Diámetro de copa.....	27
6.5	Longitud del brote.....	28
6.6	Tasa de crecimiento absoluta (TCA) y tasa de crecimiento relativa (TCR).....	29
6.7	Concentración de clorofila.....	32
6.8	Estructura anatómica de las hojas.....	33
6.9	Densidad estomática.....	34
6.10	Determinación del pH y conductividad eléctrica (CE).....	35
6.10.1	El pH en el suelo.....	35
6.10.2	Conductividad eléctrica (CE) en el suelo.....	36
6.11	Correlaciones entre variables.....	37
7.	DISCUSIÓN.....	39
8.	CONCLUSIONES.....	47
9.	RECOMENDACIONES.....	47
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	48
11.	ANEXOS.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de ensayo.....	14
Figura 2. Aplicación de fertilizantes en cacao clon EETP-801.....	17
Figura 3. Planta de cacao clon EETP-801 con sombra al 80%.....	18
Figura 4. Ubicación de los tratamientos en campo.....	18
Figura 5. Dinámica del crecimiento en longitud en cacao EETP-801.....	23
Figura 6. ASTT para el porta-injerto (P) y el injerto (I) en cacao clon EETP-801.....	25
Figura 7. Relación entre el área y el largo de hoja en cacao EETP-801.....	25
Figura 8. Área foliar en pantas de cacao clon EETP-801 a los 140 DDAT.....	26
Figura 9. Diámetro de copa en cacao clon EETP-801.....	27
Figura 10. Crecimiento del brote en cacao clon EETP-801.....	28
Figura 11. Interacción de la fertilización (0 % y 100 %) en función de la sombra (0 % y 80 %), en la longitud del brote, en cacao clon EETP-801.....	29
Figura 12. Efecto de la interacción de la fertilización (0 % y 100 %) en función de la sombra (0 % y 80 %), en la TCA, en cacao clon EETP-801.....	30
Figura 13. Efecto de la interacción de la fertilización (0 % y 100 %) en función de la sombra (0 % y 80 %), en la TCR, en cacao clon EETP-801.....	31
Figura 14. Contenido de clorofila Total en cacao clon EETP-801.....	32
Figura 15. Efecto de la interacción de la fertilización (0 % y 100 %) en función de la sombra (0 % y 80 %), en la longitud de estoma, en cacao clon EETP-801.....	33
Figura 16. Número de estomas y células epidérmicas en cacao clon EETP-801. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas.....	34
Figura 17. Índice estomático en cacao clon EETP-801.....	35
Figura 18. Dinámica del pH en el suelo durante la aplicación de los tratamientos.....	36
Figura 19. Dinámica de la conductividad eléctrica en suelo para los tratamientos en cacao EETP-801.....	37
Figura 20. Aplicación de sombra con malla sarán al 80 %.....	58
Figura 21. Aplicación de la fertilización.....	58
Figura 22. Etiquetado de plantas.....	58
Figura 23. Medición de altura de planta y diámetro de copa.....	59
Figura 24. Medicación de longitud de hoja.....	59
Figura 25. Toma de muestras de hojas para el análisis fisiológico.....	59
Figura 26. Estomas en hojas de cacao clon EETP-801 observadas a 10X.....	60
Figura 27. Estomas en hojas clon EETP-801 observadas a 40X.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de los tratamientos aplicados en cacao clon EETP-801	16
Tabla 2. Dosis de corrección del Boro con ácido bórico al 17,5 %	16
Tabla 3. Dosis nutricional aplicada a los tratamientos en cacao clon EETP-801	17
Tabla 4. Incremento de la altura en cm en plantas de cacao clon EETP-801	23
Tabla 5. ASTT e incremento del injerto y porta-injerto en cacao clon EETP-801	24
Tabla 6. Área foliar e IAF en cacao EETP-801 a los 140 DDAT.....	26
Tabla 7. Incremento en cm de diámetro de copa en cacao clon EETP-801	27
Tabla 8. Crecimiento longitudinal en cm del brote en cacao clon EETP-801	28
Tabla 9. Tasa de crecimiento absoluta (TCA) en cm día^{-1} en brotes de cacao clon EETP-801.....	29
Tabla 10. Tasa de crecimiento relativa en cm (cm día^{-1}) en cacao clon EETP-801	31
Tabla 11. Concentración de clorofila A, B y Total a los 140 DDAT en cacao clon EETP-801.....	32
Tabla 12. Estructuras anatómicas de las hojas de cacao clon EETP-801 a los 140 DDAT ...	33
Tabla 13. Número de estomas, células epidérmicas e índice estomático, en cacao EETP-801.....	34
Tabla 14. Evaluación del pH en el suelo en cacao clon EETP-801	35
Tabla 15. Conductividad eléctrica del suelo en cacao clon EETP-801	37
Tabla 16. Correlaciones de variables morfológicas y fisiológicas en cacao clon EETP-801 .	38
Tabla 17. Análisis de variables en cacao clon EETP-801.....	61
Tabla 18. Extracción de nutrientes del cultivo de cacao.....	62
Tabla 19. Corrección del déficit de boro según el análisis de suelo	62
Tabla 20. Dosis de fertilización para cacao clon EETP-801.....	63
Tabla 21. Cantidad de fertilizantes para aplicar en los tratamientos	65

ÍNDICE DE ANEXOS

11. ANEXOS	58
11.1 Anexo 1. Evidencias fotográficas.....	58
11.2 Anexo 2. Análisis de variables	61
11.3 Anexo 3. Cálculo para la fertilización de base.....	62
11.3.1 Corrección del elemento déficit	62
11.3.2 Cálculo de dosis de fertilización	63
11.4 Anexo 4. Análisis de suelo	65
11.5 Anexo 5. Certificación de traducción del Abstract	67

“Influencia de dos niveles de sombra y fertilización sobre parámetros morfofisiológicos en plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP-801 en el sector “El Padmi”, provincia de Zamora Chinchipe.”

2. RESUMEN

Theobroma cacao L. es un cultivo de importancia a nivel mundial. Su rendimiento se ha mermado por las inadecuadas labores agronómicas, susceptibilidad a enfermedades, el mal manejo de insumos, la falta de soluciones tecnológicas y a la ausencia de variedades con alto rendimiento y rentabilidad sostenida de cacao fino y de aroma. Aunque existe controversia de la información existente el manejo de la sombra y la fertilización son dos vías para mejorar el establecimiento y rendimiento del cacao, tomando en cuenta la diversidad climática de las regiones productoras de cacao en Ecuador y, el potencial cacaotero de la región amazónica. El objetivo de la presente investigación fue determinar la influencia de la sombra y la fertilización sobre parámetros morfofisiológicos en plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.), clon EETP-801, en el sector “El Padmi”, provincia de Zamora Chinchipe. El ensayo se estableció bajo un diseño completamente al azar con arreglo bifactorial, donde se evaluó el efecto de dos niveles de sombra (0 % y 80 %) y fertilización (0 % y 100 %), en cuatro tratamientos y seis repeticiones. Los datos se recolectaron cada 20 días y al finalizar el ensayo. Los resultados no indican efectos significativos sobre; altura de planta, área de la sección transversal del tronco (ASTT), índice de área foliar (IAF) y diámetro de copa, no obstante, los tratamientos con sombra al 80 %, fertilización 100 % y su interacción produjeron efectos significativos en la longitud de las hojas, en la longitud de los brotes y por consiguiente en la tasa de crecimiento absoluta (TCA) y la tasa de crecimiento relativa (TCR). En los parámetros fisiológicos no se encontró efectos significativos sobre la concentración de las clorofilas, ancho de estoma, ancho de célula oclusiva, ancho de epidermis, ancho de lámina foliar, no obstante, la sombra en interacción con la fertilización produjeron efectos significativos incrementando la longitud de los estomas, y la densidad estomática, la sombra por si sola redujo el número de células epidérmicas, también, se observó efectos significativos de la fertilización a los 80 y 120 DDAT, provocando descensos en el pH del suelo, e incrementos en la conductividad eléctrica (CE) a los 60 y 80 DDAT. Las principales conclusiones fueron que la sombra, la fertilización y su interacción produjeron efectos en la longitud de los brotes, TCA, TCR y redujeron el número de estomas. La sombra redujo el largo de estoma y disminuyó el número de células epidérmicas en las hojas. La fertilización disminuyó el pH e incrementó la CE en el suelo.

Palabras claves: *Malvaceae, nutrición, intercepción de la radiación, crecimiento, fisiología.*

2.1 ABSTRACT

Theobroma cacao L. is a crop of worldwide importance. Its yield has declined due to inadequate crop management practices, susceptibility to disease, the lack of technological solutions and varieties with high yields and sustained profitability of fine and aromatic cocoa, in addition to the controversy of existing information. Shade management and fertilization are two ways to improve the establishment and yield of cocoa, taking into account the climatic diversity of the cocoa-producing regions of Ecuador and the cocoa potential of the Amazon region. The objective of this research was to determine the influence of shade and fertilization on morphophysiological parameters in cocoa plants (*Theobroma cacao* L.), clone EETP-801, in the "El Padmi" sector, province of Zamora Chinchipe. The trial was established under a completely randomized design with bifactorial arrangement, where the effect of two levels of shade (0 % and 80 %) and fertilization (0 % and 100 %) was evaluated in four treatments and six replications. Data were collected every 20 days and at the end of the trial. The results indicate no significant effects on plant height, trunk cross-sectional area (ASTT), leaf area index (LAI) and crown diameter; however, the treatments with 80% shade, 100% fertilization and their interaction produced significant effects on leaf length, shoot length and consequently on absolute growth rate (AGR) and relative growth rate (RGR). In the physiological parameters, no significant effects were found on chlorophyll concentration, stomata width, occlusive cell width, epidermis width, leaf lamina width; however, shade in interaction with fertilization produced significant effects increasing stomata length. Also, significant effects of fertilization were observed at 80 and 120 DDAT, causing decreases in soil pH and increases in electrical conductivity (EC) at 60 and 80 DDAT. The main conclusions were that shade, fertilization and their interaction produced effects on shoot length, TCA, TCR, reduced stomatal number. Shade reduced stomata length and decreased the number of epidermal cells in leaves. Fertilization decreased soil pH and increased soil EC.

Key words: Malvaceae, nutrition, radiation interception, growth, physiology.

3. INTRODUCCIÓN

El cacao tiene gran importancia en América Latina y el Caribe, es uno de los principales productos de exportación, donde más del 90 % se proviene de la agricultura familiar, y favorece la distribución de las riquezas (Sánchez *et al.*, 2019). En Ecuador, existe 105 000 familias vinculadas directamente al sector con 108 000 empleos directos generados por la cadena productiva (ANECACAO, 2020). La superficie plantada de cacao en 2019 fue de 601 954 ha, con una producción de 283 680 TM, siendo las provincias de Guayas, Manabí y Los Ríos las más representativas (ESPAC - INEC, 2020).

Durante los últimos 20 años, la producción de cacao ha aumentado, debido al incremento de sus áreas de cultivo, mientras que los rendimientos se han mantenido bajos, con un promedio de 300 kg / ha (Montomayor *et al.*, 2008). El rendimiento puede llegar sobre los 3 000 kg / ha, pero las condiciones y el manejo del cultivo afectan severamente la producción, a parte de las enfermedades que producen pérdidas de hasta de un 30 % de la cosecha (Bowers *et al.*, 2001). Para el sector cacaotero ecuatoriano es un reto satisfacer parte la demanda mundial, conociendo que creció 2,4 % cada año desde 1995 (Plaza *et al.*, 2016).

El cacao fino de aroma representa entre el 6 % y 8 % de la producción mundial, el 80 % se produce en América Latina; en particular Ecuador aporta con 54 % del total de este segmento (Plaza *et al.*, 2016). De ahí, la importancia de la nueva variedad de cacao fino de aroma EETP-801 que representa una alternativa con mayor productividad sin perder calidad y aroma. Conociendo, que el mercado de chocolates especiales ha crecido en más de un 35 % anual desde el 2010, que coincide con la reactivación de nichos de mercados para cacaos especiales, como lo son, el Cacao Premium de Origen, Cacao Fino de Aroma y Cacao Sostenible (CEPAL, 2015).

El cacao enfrenta múltiples desafíos como las fluctuaciones de los precios, enfermedades devastadoras, el mal uso de insumos, la inadecuada utilización de paquetes tecnológicos y la falta de material de siembra certificado. Los rendimientos se incrementan al utilizar materiales genéticos mejorados y mejores prácticas agronómicas (Sánchez *et al.*, 2017)

El cacao es tolerante a la sombra, conduciendo a mayores tasas de fotosíntesis, crecimiento y rendimiento, sin embargo, la sombra intensa reduce el rendimiento y aumenta la incidencia de

enfermedades; de hecho, los rendimientos de cacao y la intercepción de luz están relacionados con la disponibilidad de nutrientes (Almeida & Valle, 2007). Por otra parte, los fertilizantes suplementan nutrientes, permitiendo incrementar el rendimiento y mejorar la calidad, pero esos beneficios dependen del manejo de la fertilización, ya que un excesivo aporte de nutrientes puede sobrepasar la capacidad de absorción de la planta y generar un riesgo ambiental, o causar fitotoxicidad (Páramo *et al.*, 2014).

La variación de la cantidad de luz efectiva, al pasar de una sub zona a otra, es un factor que controla la productibilidad del cacao, siendo más notorio cuando interacciona con otras variables, por ende, es necesario generar conocimiento en cada sub zona con potencial cacaotero (ANECACAO, 2020). La región amazónica del Ecuador cuenta con las condiciones favorables para producir altos rendimientos en cacao, pero es necesario realizar investigación, para generar conocimientos de identificación de la tecnología de manejo y superar parte de la problemática actual. Con estos antecedentes el presente estudio busca generar información acerca de la influencia de la sombra y la fertilización en cacao clon EETP-801 en las etapas de desarrollo e inicio de la producción y se plantea los siguientes objetivos:

Objetivo general.

Determinar la influencia de la sombra y la fertilización sobre parámetros morfofisiológicos en plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.), clon EETP-801, en el sector “El Padmi”, provincia de Zamora Chinchipe.

Objetivos específicos.

- Analizar la influencia de dos niveles de sombra y fertilización sobre los parámetros morfológicos de crecimiento del cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP-801.
- Determinar el efecto de dos niveles de sombra y fertilización sobre parámetros fisiológicos de crecimiento del cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP-801.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Origen y domesticación del cacao (*Theobroma cacao* L.)

Según la investigación genómica la mayor diversidad genética se encuentra en la región del alto Amazonas del noroeste de América del Sur, lo que señala a esta región como su centro de

origen. En una investigación realizada en granos de almidón de cacao, residuos de teobromina absorbida y ADN antiguo, se atribuye a la cultura Mayo Chinchipe, que habitaban en Zamora Chinchipe, como los primeros en domesticar y utilizar el cacao, hace al menos 5 300 años (Zarrillo *et al.*, 2018).

4.2 Taxonomía del cacao

Según (Ranjana, 2018) detalla la siguiente clasificación taxonómica:

- Dominio: Eukaryota
- Reino: Plantae
- Subreino: Tracheobionta (Plantas vasculares)
- Superdivisión: Spermatophyta (Plantas de semillas)
- División: Magnoliophyta (Plantas con flores)
- Filo: Spermatophyta
- Subfilo: Angiospermas
- Clase: Magnoliopsida (Dicotiledóneas)
- Subclase: Dilleniidae
- Orden: Malvales
- Familia: Malvaceae / Sterculiaceae
- Género: *Teobroma*
- Especies: *Theobroma cacao*

4.3 Morfología del cacao

4.3.1 Raíces

El árbol de cacao proveniente se semilla, tiene una raíz principal que crece de 1,20 m a 1,50 m, en dependencia del suelo y otros factores edáficos del lugar. La mayoría de raíces (84 % al 90 %) se ubican en los primeros 20 a 25 cm, llegando a cubrir el área de la copa, y las raicillas se encuentran en contacto con el mantillo que cubre el suelo (Enríquez, 1986).

4.3.2 Tronco

El tronco crece verticalmente (ortotrópico), hasta formar el primer verticilo, pasado el primer año de vida la planta desarrolla una serie de yemas axilares. La yema terminal desaparece y se

forman de cuatro a seis ramas de crecimiento lateral (plagiotrópicas), el crecimiento de las ramas es indeterminado (Enríquez, 1986). El tallo es glabro o parcialmente pubescente en ejes jóvenes. La corteza es oscura, gris-café. Las ramas son cafés y finamente vellosas (Rondón & Cumana Campos, 2005)

4.3.3 Hojas

Al formarse, la mayoría de las hojas tienen pigmentación. El tamaño de hoja puede variar mucho en dependencia del ambiente, así, a menos luz más grande la hoja (Enríquez, 1986). Las hojas son coriáceas simples, enteras, angostamente ovadas a obovado-elípticas, ligeramente asimétricas, (17 hasta 60) cm de largo y (7 hasta 14) cm de ancho, alternas y glabras o laxamente pubescentes en ambas caras. La base de las hojas es redondeada a ligeramente cordada, con ápice largamente apiculado. El pecíolo es de 14 - 27 mm de largo. Las estípulas son lineares y caducas (Dostert *et al.*, 2011).

4.3.4 Inflorescencias

Las inflorescencias se localizan en la base de las hojas, al alrededor de la cicatriz y la yema axilar que deja una hoja, es difícil encontrar genotipos que florezcan en ramas nuevas. El cacao florece todo el año, algunas variedades florecen solo una parte del año en dependencia del ambiente y los factores genéticos. Las flores aparecen en grupos de cojines florales; el número de flores en los cojines varía dependiendo del genotipo y el sistema de cultivo (Enríquez, 1986).

4.3.5 Flores

El pistilo está formado por un ovario supero constituido de la fusión de cinco lóculos los cuales suelen contener de 5 a 15 óvulos fecundados dependiendo del genotipo. El pistilo es receptivo a lo largo del estilo y el estigma, la apertura de la flor se inicia a las 5 pm aproximadamente, los sacos polínicos se abren en la mañana y son funcionales casi inmediatamente pero de corta viabilidad de 48 horas aproximadamente (Enríquez, 1986).

Las flores son pentámeras, hermafroditas, actinomorfas, y 5 hasta 20 mm de diámetro; el pedúnculo floral es de 1 - 3 cm de largo. Los sépalos son blanco verdosos o rosa claros, 5 - 8 mm de largo, 1,5 - 2 mm de ancho, angostamente lanceolados, persistentes y fusionados en la base. Los pétalos son un poco más largos que los sépalos, 6 - 9 mm de largo, libres,

amarillentos, con 2 o 3 nervios violetas adentro, glabros, con la parte inferior redondeada o abruptamente atenuada, curvos y apiculados. Los estambres son 10 y lineales; cinco estambres fértiles se alternan con cinco estaminodios; los estambres fértiles son de 2,5 - 3 mm de largo y están dispuestos frente a los pétalos; los estaminodios son violeta y 6,5 – 7,5 mm de largo. (Dostert *et al.*, 2011).

4.4 Tipos de cacao

La clasificación y la diferenciación de la población dentro de las especies se pueden comprender con la expresión de 1 241 accesiones que cubren un amplio muestreo geográfico, que fueron genotipificadas con 106 marcadores microsatélites. Entre ellos se encuentran el Marañón, el Curaray, el Criollo, el Iquitos, el Nanay, el Contamana, el Amelonado, el Purús, el Nacional y el Guayana como grupos genéticos, y en oposición a los grupos tradicionalmente reconocidos dentro de *Theobroma cacao*. Esta nueva clasificación refleja con mayor precisión la diversidad genética que ya está disponible para los agricultores, en lugar de la clasificación tradicional como criollo, forastero o trinitario (Juan *et al.*, 2008).

4.4.1 Clon EETP-801

El cacao clon EETP-801 lanzado al mercado en el año 2016, inicia su fase productiva cerca de los 14 meses después de plantado, lo que demuestra alta precocidad. El alto rendimiento y la calidad de grano, sitúa al clon un referente en el país a nivel de productividad comercial. El crecimiento es semi-erecto, la mazorca inmadura de color verde, y amarilla en su madurez, auto compatible, índice de mazorca de 18, promedio de 46 semillas por mazorca e índice de semilla de 1,40 (Loor *et al.*, 2019), que según él INEN (2018), lo ubica en la categoría Arriba Superior Summer Selecta (ASSS).

El clon INIAP-EETP-801 dispone de un perfil sensorial que lo ubica dentro de los llamados cacao finos y de aroma. La expresión del aroma y sabor característico, está supeditado al tipo de tratamiento post cosecha y a las instalaciones con las que se cuente para este fin (Loor *et al.*, 2018).

El clon INIAP-EETP- 801 es el resultado de un arduo trabajo por más de dos décadas de investigación y desarrollo en el área de mejoramiento genético, con lo cual se demuestra, que sí es posible aumentar significativamente los niveles de producción por hectárea en el cacao

tipo Nacional fino y de aroma, a niveles iguales o superiores al CCN51. Tiene un rendimiento promedio de 2 toneladas al año y puede incrementarse hasta sobrepasar las 2,5 toneladas año (Loor *et al.*, 2018).

En estudios experimentales en diferentes zonas del Ecuador, demostraron que el clon EETP-801 presenta alta adaptabilidad en la región costera del país, específicamente en la parte media y alta de la cuenca del río Babahoyo, además, se conoce que su máxima expresión evaluada sobre el potencial de rendimiento se logra alrededor de los 600 m s.n.m. (Loor *et al.*, 2019). Sin embargo, en la región amazónica no se realizan estudios sobre el desarrollo y comportamiento productivo.

4.4.2 Clon EETP-800

Es el resultado de la cruce CCN 51 × EET 233, la planta ‘E5/T1/R2/A3’ destacó por su productividad y se clonó para evaluaciones posteriores de progenies. Las características del clon son: crecimiento semi-erecto, floración en el primer y tercer trimestre del año, mazorca inmadura color verde, y amarilla en su madurez fisiológica, auto compatible, producción precoz (14 meses), índice de mazorca de 18, promedio de 46 semillas por mazorca e índice de semilla de 1,40 (Loor-Solórzano *et al.*, 2019).

El rendimiento promedio luego de 36 meses después de la siembra fue de 2,73 Kg de cacao seco por planta. En un experimento en tres localidades el rendimiento del T1 fue superior al testigo al testigo CCN-51. Su perfil sensorial se compone de sabores a cacao, floral y frutal, con notas a frutos secos y dulzor, en el cual se destaca el sabor florar, principal característica del cacao Nacional. El T1 fue liberado en 2016 con la denominación INIAP-EETP-800 (Loor-Solórzano *et al.*, 2019).

4.4.3 Clon CCN-51

Obtenido en los años 60 por el productor Homero Castro Zurita, en el cantón Naranjal, provincia del Guayas. Entre los beneficios que trae el sembrar esta variedad de cacao se destacan su adaptabilidad a los diferentes pisos climáticos del país, alta productividad con un buen manejo de cultivo y es resistente a enfermedades y plagas. Sus mazorcas son rojizas – moradas cuando son tiernas, y de color rojizo anaranjado en la madurez. Presentan sabor a

cacao de mediano a bajo, contienen grandes cantidades de grasa y su potencial se encuentra en la producción de manteca de cacao (Paredes, 2009).

4.5 Fenología del cacao

En el Anexo 4 se muestra las etapas de crecimiento fenológico y claves de identificación utilizando la escala BBCH extendida descrita por Niemenak et al., (2010).

4.6 Condiciones para el cultivo de cacao

4.6.1 *Condiciones climáticas*

Las temperaturas óptimas son de 24,5 °C a 25 °C, con una variación óptima de 9 °C, con temperaturas promedio mensual comprende una mínima de 15 °C y una máxima de 30 °C (Batista, 2009). En Pichilingue Ecuador, donde la temperatura media no baja de 22,8 °C, se cosecha durante todo el año (Enríquez, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, 2006). El crecimiento y desarrollo dependen en gran medida de la temperatura, que afecta al crecimiento vegetativo, la floración, y el desarrollo de los frutos (Almeida & Valle, 2007).

Para la mayoría de los genotipos la resistencia a la sequía está asociada con el ajuste osmótico (Almeida & Valle, 2007). En gran parte de las regiones productoras de cacao, la cantidad de lluvia caída es superior a la evapotranspiración, por tanto, el agua debe ser eliminada por otros medios, pues el árbol de cacao es muy sensible al exceso y a la carencia de agua (Batista, 2009).

La velocidad del viento de 1 m/s no es perjudicial para el cacao, pero, velocidades superiores a 4 m/s con brisas permanentes, las hojas dejan de trabajar, se secan y luego mueren. La humedad relativa por encima del 80 % facilita el desarrollo de enfermedades producidas por hongos. Lo idóneo es mantener la humedad entre el 70 a 80 % (Batista, 2009).

4.6.2 *Condiciones edáficas*

Requiere suelos con buena fertilidad y un porcentaje materia orgánica de al menos 3 % (Sánchez *et al.*, 2017). Requiere suelos planos, inclinados, y bien drenados en lugares donde la lluvia tenga un promedio anual superior a 4 000 mm. La inundación del suelo reduce el área foliar, conductancia estomática y tasas fotosintéticas, además, de inducir la formación de lenticelas y raíces adventicias (Almeida & Valle, 2007).

Tolera suelos con una profundidad de 0,60 m, lo mejor es seleccionar suelos con profundidad de 0,8 a 1,5 m, con textura mediana (franco, franco-arcilloso, franco-arenoso): 30 a 40 % de arcilla, 50 % de arena y 10 a 20 % de limo. Requiere suelos bien estructurados con porosidad de 10 a 66 %, con buena retención de humedad. Los suelos deben tener un pH de 6 a 7, un contenido de materia orgánica mayor al 3 %, y con una relación C/N de 9 como mínimo. La capacidad de intercambio catiónico debe ser superior a 12 meq por 100 g de suelo en la superficie y más de 5 meq en el subsuelo. Requiere suelos de media a alta fertilidad, con un contenido de boro y calcio que supere a las 0,2 ppm, de magnesio y potasio mayor a 2 y 0,24 meq por 100 g de suelo respectivamente, la saturación de bases debe ser mayor a 35 % (Sánchez et al., 2017).

4.7 Nutrición en cacao

El cultivo durante el establecimiento, inmoviliza cantidades de nutrientes para formar la estructura, en la etapa productiva esta tendencia decrece, pues gran parte de los minerales son utilizados en la formación de los frutos, siendo necesario suministrar nutrientes acorde con el desarrollo y la producción del cultivo (Rojas, 2012).

Un estudio realizado en CCN-51 a plena exposición solar, reporta que, la extracción de nutrientes por producción de frutos con 2 222 plantas/ha fue: N (101), P₂O₅ (27), K₂O (204), CaO (69), MgO (42) y S (12) kg /ha, y con 833 plantas/ha fue de; 50, 23, 101, 35, 21 y 6 kg/ha, respectivamente (Barriga et al., 2010).

A través de un análisis de toda la planta de cacao, en Malasia se llevó a cabo un estudio, para estimar su exigencia nutritiva en las diferentes etapas de desarrollo; los resultados obtenidos se muestran en el anexo 2 (Tabla 18). Las cifras dan cuenta de la intensa demanda nutritiva del cultivo para sostener una alta productividad. En otro estudio se encontró que durante la etapa de plena producción, los árboles de cacao en una hectárea, ya han acumulado en sus tejidos alrededor de: 438 Kg de N, 48 Kg de P, 633 Kg de K, 373 Kg de Ca, 129 Kg de Mg, 6,1 Kg de Mn, 1,1 Kg de Zn; entre otros nutrientes. El mismo estudio reveló que al comercializar una tonelada de cacao seco, salen de la huerta alrededor de 40 Kg de N, 6 Kg de P y 86 Kg de K (Rojas, 2012).

4.8 Sombra en cacao

El cacao es una especie tolerante a la sombra, con el sombreado apropiado conduce a tasas de fotosíntesis, crecimiento y rendimiento de semillas relativamente altos. Sin embargo, la sombra intensa reduce el rendimiento de semillas y aumenta la incidencia de enfermedades; de hecho, los rendimientos de cacao y la intercepción de luz están estrechamente relacionados cuando la disponibilidad de nutrientes no es limitante. La alta producción de cacao sin sombra requiere altos insumos para la protección y nutrición del cultivo (Almeida & Valle, 2007).

En Pichilingue, en un experimento con parcelas pequeñas (20 plantas por parcela y cuatro repeticiones), se encontró que las plantas que crecían a plena exposición fueron sensiblemente más pequeñas, pero comenzaron a florecer y fructificar mucho antes que aquellas que crecieron bajo tres tipos diferentes de sombra. Actualmente, el cacao sin sombra requiere grandes cantidades de agua y fertilizantes, y es difícil instalar un cacaotal a plena exposición, debido a las hierbas competitivas y el combate de insectos. (Enríquez, 2006).

Se ha reportado que las plantas de cacao, de los dos tipos fundamentales (Criollo y Forastero) y el híbrido entre estas dos tipos (Trinitario), se saturan a densidades de flujo fotónico comprendidas entre 400 a 600 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, intensidades que constituyen entre 25 y 30 % de la radiación máxima en un día despejado (Jaimez *et al.*, 2008).

Un aspecto relevante de la poca tolerancia del cacao a altas radiaciones, es el tiempo de vida promedio de las hojas que se ha estimado que es de 450 y 250 días en plantas bajo sombra y a plena exposición solar, respectivamente (Jaimez *et al.*, 2008).

4.8.1 Acción de la luz

La luz tiene varios efectos sobre la fisiología del árbol de cacao. A través de la acción de calor modificado, la temperatura provoca cambios en la transpiración, el crecimiento, el metabolismo y las características bioquímicas. Las hojas de cacao a pleno sol alcanzan valores de 18 a 20 °C por encima de la temperatura del aire, esto trae como consecuencia aumento de la presión de vapor del agua dentro de los espacios intercelulares. Por esta razón, la transpiración de una hoja al sol es 2 a 3 veces mayor, y en sentido general, el crecimiento del árbol es más acelerado durante los meses calientes (Batista, 2009).

La cantidad de horas luz e intensidad de la misma tiene efectos en el crecimiento, desarrollo, producción y calidad del cacao, mediante acciones directas en los procesos de fotosíntesis, apertura de estomas, crecimiento o alargamiento de las células, composición química y características de la grasa, época de maduración de las mazorcas y la intensidad de la floración (Batista, 2009).

4.9 Sombra y nutrición en cacao

El cacao bajo sombra intensa, aún con una fertilidad muy alta, no incrementa mucho la producción. En cambio, en un cacaotal con sombreado muy bajo o liviano, el incremento de la fertilidad aumenta considerablemente los rendimientos. Es por lo tanto necesario encontrar, en cada lugar, el punto crítico de estos dos factores. La evidencia experimental en Ghana demuestra que a plena exposición, los árboles de cacao, luego de algunos años de buena producción, comienzan a declinar (Enríquez, 2006).

El cacao bajo la protección de la sombra demanda menos cantidad de nutrimentos debido a las cantidades bajas de los productos de fotosíntesis, ya que no requieren de tanto nitrógeno y fósforo para formar proteínas, ni tanto potasio para estimular el crecimiento y acelerar la translocación de carbohidratos hacia el sistema radical. Por esta razón, bajo sombra intensa, el cacao tiene menores rendimientos, y la adición de fertilizantes no da una respuesta positiva (Enríquez, 2006).

Tomando como punto central en plantas de cacao se encontró que las intensidades de luz no deben sobrepasar los $1000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Mayores intensidades de luz pueden traer efectos foto inhibitorios, menor duración de las hojas, y en algunos momentos del año problemas de déficit hídricos, que aunado a mayores diferencias de presión de vapor de agua entre la hoja y el aire (DPV), pueden producir menores potenciales hídricos, cierres estomáticos y en consecuencia menores tasas de asimilación de CO_2 . Si deseamos mayores radiaciones debemos considerar que también tendremos una mayor temperatura foliar, (que es cercana a la temperatura alrededor de ellas) y además implica una mayor fertilización, especialmente de K, y como algunas investigaciones han señalado, altas dosis de N que pueden disminuir la fotoinhibición en plantas de sombra (Jaimez *et al.*, 2008).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Área de estudio

La investigación se desarrolló en la Estación Experimental “El Padmi” de la Universidad Nacional de Loja, ubicada en la parroquia Los Encuentros perteneciente al cantón Yantzaza, de la provincia de Zamora Chinchipe, como se referencia en la **¡Error! No se encuentra el rigen de la referencia.** Ubicada en las coordenadas 3° 44' 47,424" Latitud Sur y a 78° 37' 10,537" Longitud Oeste. La estación posee una extensión de 102,95 ha, con altitudes entre 775 y 1 150 m.s.n.m., según la clasificación de Sierra el tipo de vegetación corresponde a bosque siempre verde de tierras bajas.

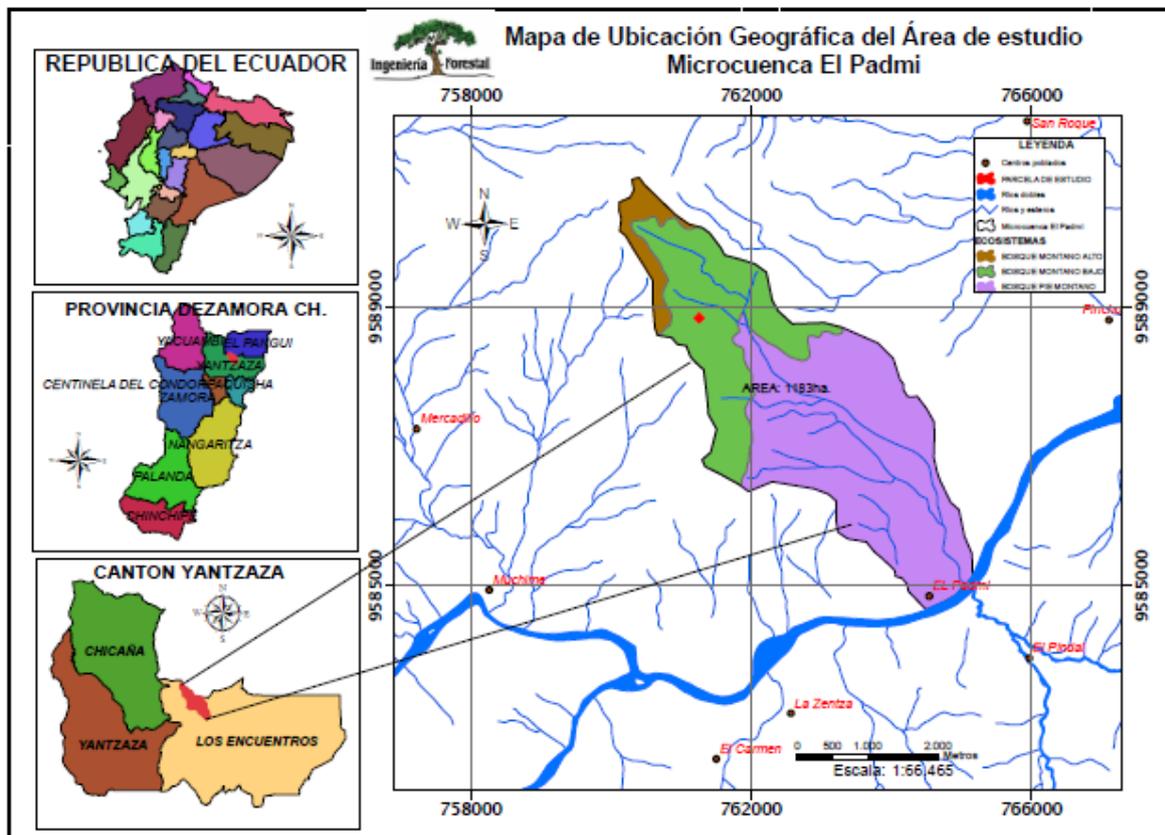


Figura 1. Ubicación de ensayo (Jiménez, 2015).

5.2 Manejo del experimento

La investigación se desarrolló en una fase de campo y de laboratorio. En fase de campo se trabajó sobre plantas de cacao clon EETP-801, donde se aplicó el establecimiento de los tratamientos de sombra y fertilización. Se proporcionó sombra al 0 % y 80 % con malla sarán, y la fertilización se la realizó en base al análisis de suelo (Anexo 4) corrigiendo la deficiencia

de B, aplicando ácido bórico. En base a los requerimientos del cultivo en inicio de la producción (Anexo 3) se calculó las dosis de N, P, K, Ca y Mg. Se registró los datos morfológicos y fisiológicos durante el periodo de abril-septiembre 2021, el manejo técnico se realizó mediante el control de arvenses, plagas y enfermedades.

La fase de laboratorio se realizó en el Laboratorio de Aguas, Suelo y Bromatología de la Universidad Nacional de Loja. Se midió el pH y la conductividad eléctrica (CE) en el suelo, concentración de clorofila, estructura anatómica de las hojas y densidad estomática.

5.3 Material vegetal

Se utilizó plantas de cacao clon EETP-801 con fecha de siembra en campo del 17 de octubre del 2019, a una densidad de 3,5 m x 4 m.

5.4 Análisis de suelo

El análisis se realizó utilizando la metodología de suelos de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGROCALIDAD, 2018). Se tomó 15 sub-muestras distribuidas al azar en todo el terreno, las sub-muestras se mezclaron, se eliminaron piedras y a través del método de los cuartos opuestos se obtuvo una muestra representativa de 1,5 kg que fue enviada al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas de la Estación Experimental “Santa Catalina” del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) para el análisis físico, químico y la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), (Anexo 4).

5.5 Diseño experimental

Se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo bifactorial, donde se evaluaron los factores sombra (0 % y 80 %) y fertilización (0 % y 100 %), con 4 tratamientos y 6 repeticiones (Tabla 1). El modelo matemático utilizado se detalla a continuación:

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

- Y_{ij} = variable respuesta
- μ = Media global de la variable respuesta
- α_i = Efecto del factor sombra (i:1,2)
- β_j = Efecto del factor fertilización (j:1,2)

- $(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción entre sombra y fertilización.
- ε_{ij} = Error experimental

Tabla 1. Descripción de los tratamientos aplicados en cacao clon EETP-801

Tratamientos	Fertilización					Sombreo %	Descripción
	Dosis (unidades/kg/ha)						
	N	P	K	Ca	Mg		
Control T1	0	0	0	0	0	0	Fertilización: 0% Sombra: 0%
Sombreado T2	0	0	0	0	0	80	Fertilización: 0% Sombra: 80%
Fertilizado T3	212	23	321	140	71	0	Fertilización: 100% Sombra: 0%
Sombra*Fertilización (T4)	212	23	321	140	71	80	Fertilización: 100% Sombra: 80%

5.5.1 Aplicación de los tratamientos

5.5.1.1 Fertilización. Se realizó fertilización base con 28 g de ácido bórico $B(OH)_3$ para corregir la deficiencia de B (Tabla 2), en dos aplicaciones con un intervalo de 30 días al inicio del ensayo. Para el resto de elementos no se detectó déficit en el suelo (Anexo 4).

Tabla 2. Dosis de corrección del Boro con ácido bórico al 17,5 %

Dato del análisis de suelo ppm	Valor optimo ppm	Déficit (ppm)	Corrección (B)		Fertilizante $B(OH)_3$ g/planta
			kg/ha	g/planta	
0,15	0,5	0,35	3,5	4,9	28

Para determinar el déficit y la dosis de corrección se utilizaron las fórmulas descritas por (Estrada *et al.*, 2017):

Déficit: D = Ideal – Resultado de análisis

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

En la

Tabla 3, se detallan los tratamientos y las dosis nutricionales en el ensayo. Las dosis aplicadas a los tratamientos se determinaron utilizando la demanda de los elementos N, P, K, Ca, y Mg, en el periodo de inicio de la producción (Anexo 3. Cálculo para la fertilización de base.

Tabla 3. Dosis nutricional aplicada a los tratamientos en cacao clon EETP-801

Descripción	Kg/ha	Elemento g/planta	Fertilizante	Dosis de fertilizante g/planta	Aporte adicional
T1	0,0 N	0,0	-	-	-
	0,0 P	0,0	-	-	-
	0,0 K	0,0	-	-	-
	0,0 Ca	0,0	-	-	-
	0,0 Mg	0,0	-	-	-
T2	0,0 N	0,0	-	-	-
	0,0 P	0,0	-	-	-
	0,0 K	0,0	-	-	-
	0,0 Ca	0,0	-	-	-
	0,0 Mg	0,0	-	-	-
T3	212 N	296,8	NH ₄ NO ₃	518,6	0,0
	23 P	32,2	DAP (18-46-0)	70,0	12,6 N
	321 K	449,4	KCl	749,0	0,0
	140 Ca	196	Ca (NO ₃) ₂	753,8	113,08 N
	71 Mg	99,4	MgSO ₄	621,3	0,0
T4	212 N	296,8	NH ₄ NO ₃	518,6	0,0
	23 P	32,2	DAP (18-46-0)	70,0	12,6 N
	321 K	449,4	KCl	749,0	0,0
	140 Ca	196	Ca (NO ₃) ₂	753,8	113,08 N
	71 Mg	99,4	MgSO ₄	621,3	0,0

La fertilización se realizó desde 1 mayo hasta el 18 septiembre del 2021, fraccionando en 8 partes con una frecuencia de aplicación de 20 días y se tomó la dirección de la canopia a una profundidad de 3 a 5 cm (Figura 2).



Figura 2. Aplicación de fertilizantes en cacao clon EETP-801.

5.5.1.2 Sombra. Se utilizó malla sarán al 80 % de sombra en dimensiones de 1,5 m por lado, a 0,5 m por encima de la altura de la planta (Figura 3).



Figura 3. Planta de cacao clon EETP-801 con sombra al 80%.

5.5.2 *Diseño en campo de los tratamientos*

En campo se encuentran establecidos 3 clones de cacao (CCN-51, EETP-800 y EETP-801) sembrados en bloques distintivos con fines de investigación. Para el presente estudio se seleccionaron plantas del clon EETP-801, y se realizó la distribución al azar de los tratamientos (Figura 4). Se establecieron 4 tratamientos, con 6 repeticiones, dando un total de 24 unidades experimentales.

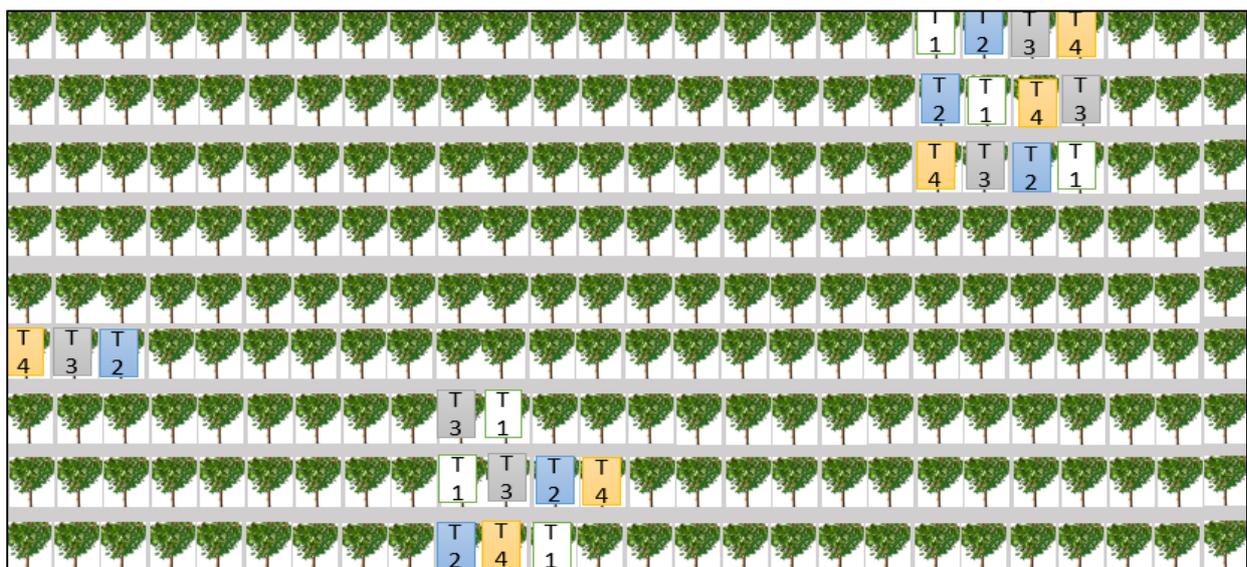


Figura 4. Ubicación de los tratamientos en campo

Nota: T1: Control, T2: Sombreado, T3: Fertilizado, T4: Sombra*Fertilización.

5.6 Variables

5.6.1 *Altura de la planta*

Se midió cada 20 días con un flexómetro, desde la base del tallo en la superficie de suelo hasta la proyección horizontal de la rama más alta, los datos se expresaron en centímetros.

5.6.2 *Área de la sección transversal del tronco (ASTT)*

Se midió la circunferencia del tronco con cinta métrica, a 5 cm bajo y por encima del punto de unión del injerto, las mediciones se tomaron al inicio y final del ensayo. El ASTT se calculó utilizando la siguiente fórmula: $ASTT=C^2/4\pi^{-1}$, donde: C = Circunferencia del tronco (Romero, *et al.*, 2017).

5.6.3 *Índice de área foliar (IAF)*

Se midió al finalizar el ensayo (140 días), con el uso de estimaciones alométricas y considerando 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 y, se determinó el área total de la cobertura foliar para el IAF, la cual, indica la relación del área foliar total de la planta entre la superficie del suelo que ocupa dicha área, al dividir área/área es adimensional. Se midió el largo de todas las hojas para cada unidad experimental. El IAF se calculó con la fórmula (Aguirre *et al.*, 2011).

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

5.6.4 *Diámetro de copa*

Se proyectó la dirección de las ramas a la superficie del suelo, con un flexómetro se midieron los diámetros en centímetros, en dirección Norte-Sur y Este-Oeste, y se obtuvo el promedio, las mediciones se realizaron después de 60 días de iniciado los tratamientos hasta 140 días, con frecuencia de 20 días.

5.6.5 *Longitud de brote*

Se etiquetaron 4 brotes por planta, de los cuales se midieron 2 brotes por planta que iniciaron su crecimiento simultáneo, ubicados en el tercio medio superior de acuerdo a los ejes cardinales, se utilizó cinta métrica o flexómetro determinando su longitud desde la base o axila del brote hasta su ápice, con una frecuencia de 20 días, hasta los 100 días.

5.6.6 *Tasa de crecimiento absoluta (TCA) y tasa de crecimiento relativa (TCR)*

En los brotes seleccionados se determinó cada 20 días la TCA y la TCR empleando las siguientes formulas (Hernández, 1995):

- $TCA = \Delta L / \Delta t \longrightarrow (Lt_1 - Lt_0) / (t_1 - t_0)$
- $TCR = 1 / Lt_1 * TCA$

La TCA del brote se expresa en (cm día⁻¹), la TCR del brote (cm(cm día⁻¹)), Lt_1 y Lt_0 son la variación de la longitud en la fecha actual (t_1) y la anterior (t_2), para cada muestreo.

5.6.7 *Concentración de clorofila*

Para determinar el contenido de clorofila se utilizó el protocolo de análisis de clorofila por espectrometría descrito por Rodés, (2006). Se tomaron hojas totalmente funcionales, desarrolladas durante el periodo de aplicación de los tratamientos, las cuales se lavaron, secaron y cortaron en secciones sin nervadura.

Para la extracción de pigmentos se pesó 0,5 g de hoja, luego, se introdujo la muestra en un tubo de ensayo con 6 ml de etanol al 90 % de modo que los segmentos quedaron sumergidos en el solvente orgánico, posterior a ello se llevó a la incubadora por 20 minutos a baño de María a 80 °C para que los pigmentos fotosintéticos (Clorofila A, B y Total) salgan y se disuelvan en el solvente, al culminar este tiempo los segmentos quedaron totalmente decolorados y el solvente de color verde.

Los tubos de ensayo se envolvieron en papel aluminio para evitar la penetración de los rayos solares, finalmente se sacaron los restos de las muestras de los tubos para filtrar y centrifugar Rodés, (2006).

Según Mackinney, (1941) las ondas para medir la cantidad de absorbancia es 645 y 663 nm, de igual manera se usó las siguientes fórmulas:

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

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

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

La variable se midió una sola vez al finalizar el ensayo y se expresó en ml/g.

5.6.8 Estructura anatómica de las hojas

Al finalizar el ensayo se determinó el grosor de la lámina foliar, de la epidermis y del mesófilo, mediante cortes transversales de 5 mm, adaptando la metodología de Santos *et al.*, (2014). Luego se siguió un proceso de fijación, deshidratación, infiltración, seccionamiento y tinción; las observaciones se realizaron en el microscopio Olympus CX31, se tomaron 3 repeticiones por tratamiento, con 3 muestras por repetición y de cada repetición se tomaron 3 fotografías utilizando el programa Micro Cam 5.7.

Los cortes se realizaron con cuchilla de afeitar en la nervadura central, en el tercio medio de la hoja, con pinza se colocó los cortes en un frasco con 3 ml de alcohol al 90 % por un periodo de 20 a 24 horas, los cortes se enjuagaron con agua destilada durante 4 minutos, seguido se colocó los cortes en hipoclorito de sodio al 5,25 % (HCl) hasta observar que los cortes adquieren el color blanquecino a transparente, se volvió a enjuagar en agua destilada durante 4 minutos, a continuación se colocaron en sales (NaCl 8 gr y KCl 0,2 gr + Toluidina a 0,075%)/1000 ml durante 2 minutos, se colocó en agua destilada durante 4 minutos, al final se montaron las muestras para observar y capturar la imagen en el microscopio a 4X, 10X y 40X.

5.6.9 Densidad estomática

Al finalizar el ensayo, en hojas totalmente desarrolladas se aplicó la técnica de la impronta utilizada por Priego *et al.*, (2003), se utilizó una fina capa de esmalte para uñas transparente en el tercio medio en la parte central de las nervaduras secundarias del lado abaxial de la hoja,

después que el esmalte se secase, las capas se removieron y se montaron en el portaobjetos. Se utilizó un microscopio OLYMPUS BX41 en aumentos de 4X, 10X y 40X, y mediante el uso del programa Anfinity Analyze 5.0 se procedió a fotografiar, se calibró un cuadro de 120 000 um^2 considerada el área de conteo, y los datos se expresaron en estomas mm^{-2} . Se tomaron 3 repeticiones para cada tratamiento, con 3 muestras por repetición y se tomaron 3 fotos para cada muestra, teniendo, 9 cuadros de conteo para cada tratamiento.

Con los datos obtenidos se determinó el índice estomático utilizando la siguiente fórmula (Álvarez & Reynaldo, 2015):

Índice estomático: $IE = \frac{Es}{(Es+Ep)} (100)$

Donde:

- IE= Índice estomático
- Es= Número de estomas
- Ep= Número de células epidérmicas

5.6.10 *Determinación de pH y conductividad eléctrica del suelo*

Se tomaron cada 20 días muestras de suelo a una profundidad de 7 a 10 cm, con 4 repeticiones por tratamiento, recolectando 100 g de suelo. Las muestras fueron secadas en sombra y tamizadas en malla plástica. El análisis se realizó en el Laboratorio de Suelos, Agua y Bromatología de la Universidad Nacional de Loja, con el potenciómetro se procedió a medir el pH en agua destilada con una relación 1:2.5. Se partió del análisis general de suelo con un pH de 5,42 (Anexo 4).

5.7 **Análisis estadístico**

Con las mediciones en campo y laboratorio se construyó una base de datos, donde se analizó la distribución normal de los datos, mediante análisis de supuestos. Seguido, se realizó el análisis de varianza (ANOVA), para determinar el efecto de los tratamientos y se aplicó el Test de Tukey (95 %) para determinar el mejor tratamiento. Finalmente, para aquellas variables cuantitativas de interés, se realizó un análisis de correlación de Pearson (95 %), para determinar una posible relación entre variables. El análisis estadístico se ejecutó utilizando el software InfoStat, versión 2019.

6. RESULTADOS

6.1 Altura de la planta

En la Figura 5, se muestran los resultados encontrados desde 0 a 80 DDAT (días durante la aplicación de los tratamientos). No existieron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (p -valor = 0,88; $p > 0,05$), sin embargo, se observó que el tratamiento fertilizado presentó una mayor altura de 153 cm, seguido del tratamiento sombreado con 136 cm, después los tratamientos, control y el conformado por sombra más fertilización con 132 cm y 131 cm, respectivamente.

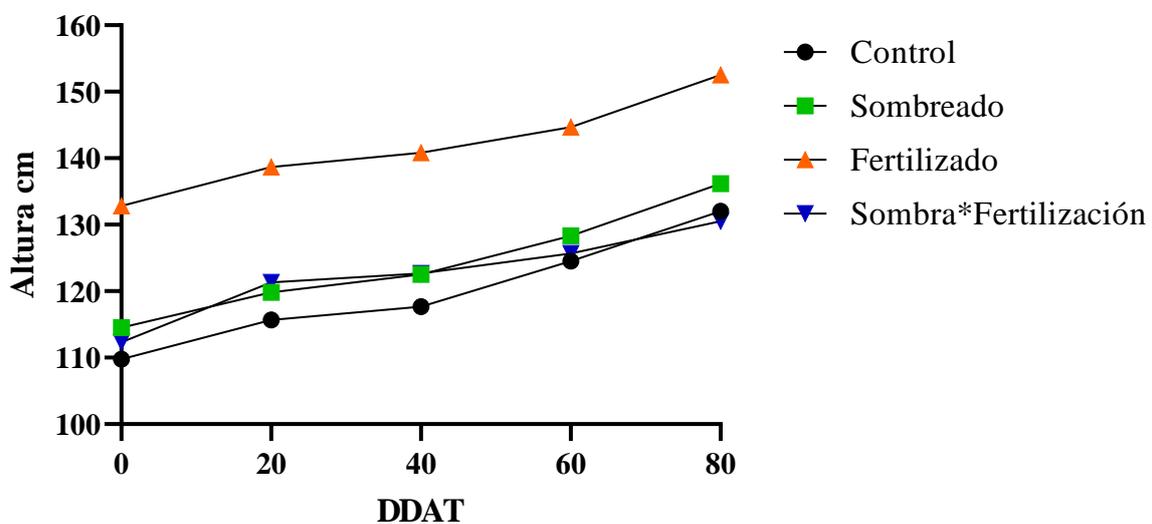


Figura 5. Dinámica del crecimiento en longitud en cacao EETP-801.

DDAT: días durante la aplicación de los tratamientos.

En la Tabla 4, se presenta el incremento en altura de las plantas durante la evaluación, en donde, no mostró diferencias estadísticas significativas (p -valor; $p > 0,05$).

Tabla 4. Incremento de la altura en cm en plantas de cacao clon EETP-801

Tratamientos	20 DDAT	40 DDAT	60 DDAT	80 DDAT	TOTAL cm
Control	5,9	2,0	6,8	7,5	22,3
Sombreado	5,3	2,7	5,8	7,8	21,7
Fertilización	5,8	2,2	3,8	7,8	19,7
Sombra y Fertilización	9,0	1,3	3,0	4,8	18,2
C.V	128,13	127,49	116,81	63,89	47,81
Sombra	ns	ns	ns	ns	ns
Fertilización	ns	ns	ns	ns	ns
Sombra*Fertilización	ns	ns	ns	ns	ns

DDAT: días durante la aplicación de los tratamientos; **ns:** no significativo. **C.V.:** coeficiente de variación.

6.2 Área de la sección transversal del tronco (ASTT)

En la Tabla 5, se muestra el ASTT en la vareta y en el porta-injerto a los 0 y 140 DDAT, donde no se encontraron diferencias estadísticas para la vareta (p -valor = 0,48; $p > 0,05$), tampoco en el porta-injerto (p -valor = 0,74; $p > 0,05$). Sin embargo, se identifica que para la vareta el tratamiento fertilizado alcanzó 17,9 cm² a los 140 DDAT, seguido del tratamiento sombreado con 15,9 cm², luego el tratamiento sombra más fertilización con 14,4 cm², y al final el control con 12,1 cm². Así mismo, para en el porta-injerto los resultados a los 140 DDAT son similares a la vareta.

Tabla 5. ASTT e incremento en porta-injerto y en la vareta de cacao clon EETP-801.

Tratamientos	Vareta cm ²		Porta-injerto cm ²		Incremento cm ²	
	0 DDAT	140 DDAT	0 DDAT	140 DDAT	Vareta	Porta-injerto
Control	6,1	12,1	11,9	19,1	6,1	7,3
Sombreado	8,7	15,9	12,1	22,0	7,2	9,8
Fertilizado	10,6	17,9	16,3	24,4	7,3	8,0
Sombra*Fertilización	9,4	15,4	14,8	22,8	6,0	8,0
C.V	50,56	41,51	43,23	37,24	59,75	38,72
Sombra	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Fertilización	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Sombra*Fertilización	ns	ns	ns	ns	ns	ns

DDAT: días durante la aplicación de los tratamientos; **ns:** no significativo. **C.V.:** coeficiente de variación.

En la Figura 6, se muestran los resultados del incremento en cm² para la vareta y porta-injerto al final del ensayo. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, tanto para el porta-injerto (p -valor = 0,57; $p > 0,05$), como para la vareta (p -valor = 0,90; $p > 0,05$). En la vareta se observa que el fertilizado incrementó 7,3 cm², seguido del sombreado con 7,2 cm², después el control con 6,1 y al final el tratamiento sombra más fertilización con 6,0 cm², para el porta-injerto se obtiene que, el sombreado presenta mayor incremento 9,8 cm², seguido del fertilizado y la interacción sombra más fertilización con 8,0 cm² para cada uno y el control presenta el menor incremento con 7,3 cm².

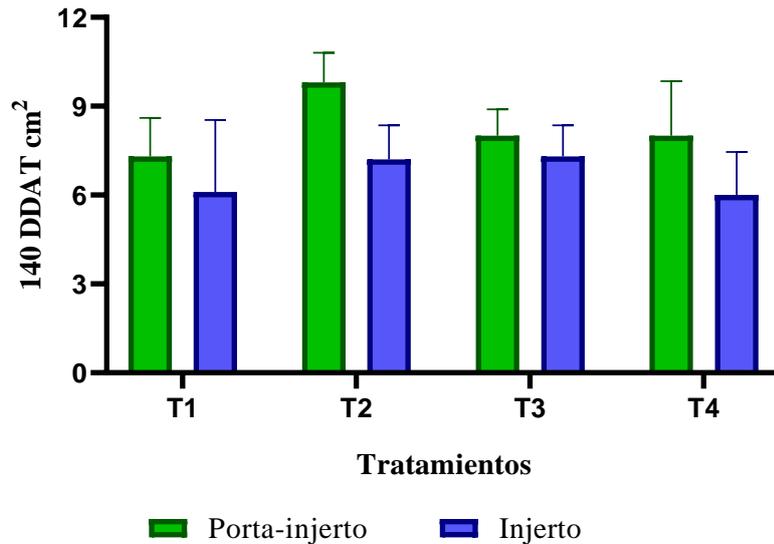


Figura 6. ASTT para el porta-injerto (P) y la varetta (I) de cacao clon EETP-801. **T1:** Control; **T2:** Sombreado; **T3:** Fertilizado; **T4:** Sombra*fertilización. **DDAT:** días durante la aplicación de los tratamientos.

6.3 Índice de área foliar (IAF)

El área foliar de las plantas se determinó mediante una medida alométrica basada en el modelo de regresión lineal. Se utilizó el largo de la hoja como medida de ajuste, es decir, el área foliar se puede calcular midiendo el largo de la hoja (Figura 7).

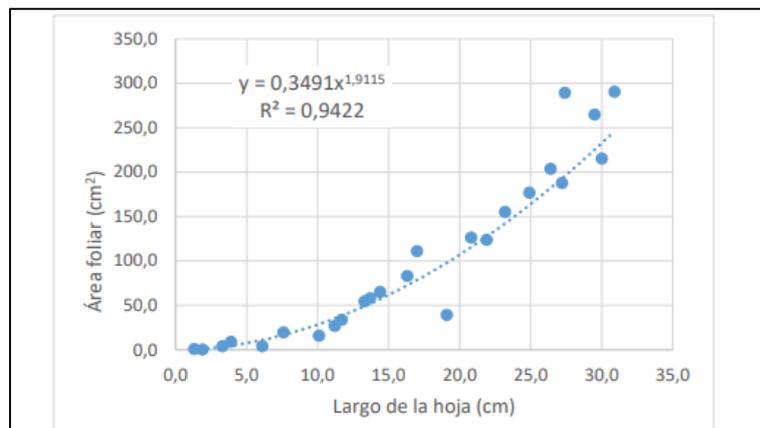


Figura 7. Relación entre el área y el largo de hoja en cacao EETP-801.

En la Tabla 6, se muestra el número de hojas, largo de hojas en cm y área foliar en m². No se encontraron diferencias estadísticas para el número de hojas (p-valor = 0,34; p > 0,05). Sin embargo, el tratamiento fertilizado tuvo mayor número de hojas con 415 hojas, seguido del tratamiento sombra más fertilización con 295 hojas, control con 277 hojas, y al finalmente el sombreado con 245 hojas.

Para el largo de hoja, se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (p -valor = 0,003; $p < 0,05$), siendo los mejores tratamientos el de sombreado y de sombra más fertilización, con un largo de 22,8 y 22,1 cm, respectivamente (Tabla 6).

Para el IAF se encontró que, el tratamiento fertilizado tiene 0,4, seguido de los tratamientos sombra más fertilización y sombreado 0,3 para ambos, y al final se presenta el control con 0,2 (Tabla 6).

Tabla 6. Área foliar e IAF en cacao EETP-801 a los 140 DDAT

Tratamientos	N° Hojas	Largo de hoja cm	AF m ²	IAF
Control	277	17,4 b	2,4	0,2
Sombreado	245	22,8 a	3,1	0,3
Fertilizado	415	19,9 ab	4,2	0,4
Sombra*Fertilización	295	22,1 a	3,4	0,3
C.V	54,10	11,18	62,47	62,21
Sombra	ns	***	ns	ns
Fertilización	ns	ns	ns	ns
Sombra*Fertilización	ns	ns	ns	ns

DDAT: días después de aplicados los tratamientos; **ns:** no significativo; *****:** p -valor $< 0,001$.

En la Figura 8, se muestra el área foliar al finalizar el ensayo, sobre la cual no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos (p -valor = 0,50; $p > 0,05$), donde el tratamiento fertilizado presenta el área foliar superior con 4,2 m², seguido de la interacción sombra más fertilización con 3,4 m², sombreado con 3,1 m² y finalmente el control con 2,4 m².

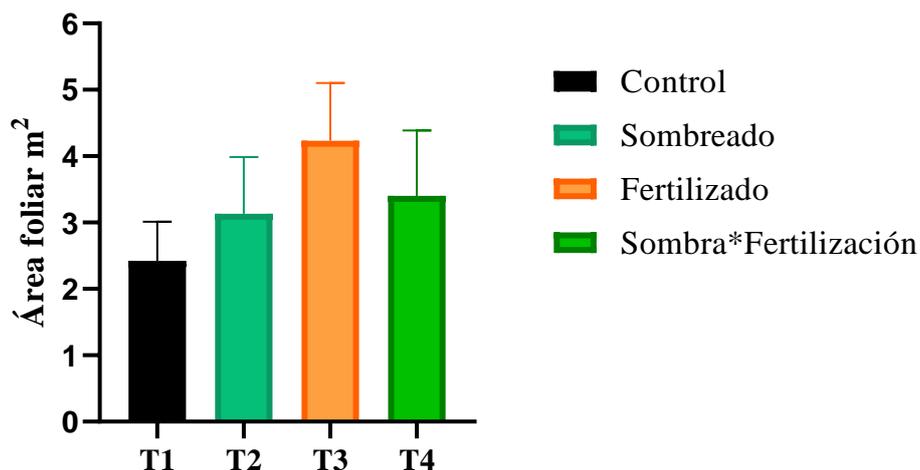


Figura 8. Área foliar en pantas de cacao clon EETP-801 a los 140 DDAT (días durante la aplicación de los tratamientos).

6.4 Diámetro de copa

En la Figura 9, se muestra el crecimiento en cm para el diámetro de copa, donde no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (p -valor = 0,22; $p > 0,05$). Sin embargo, se evidencia que el sombreado, tiene una media de 150 cm, la interacción sombra más fertilización 139 cm, el fertilizado 136 cm, y al final con menor desarrollo el control con 118 cm.

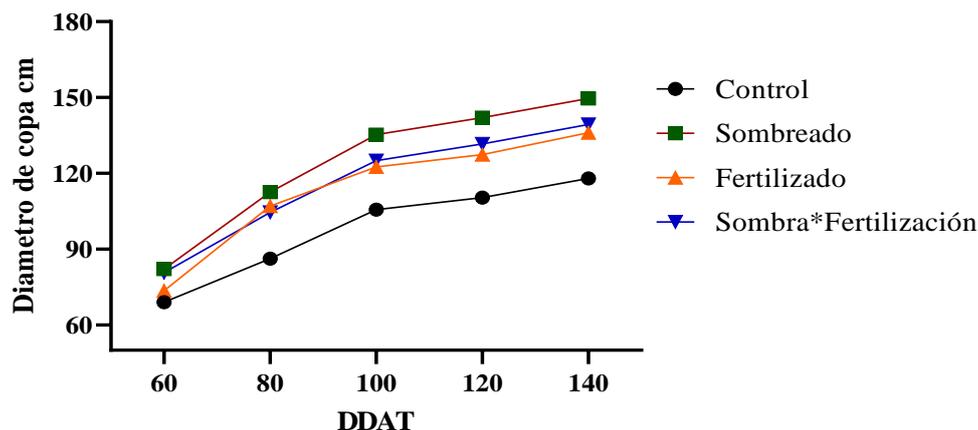


Figura 9. Diámetro de copa en cacao clon EETP-801. **DDAT:** días durante la aplicación de los tratamientos.

En la Tabla 7, se muestra el incremento del diámetro de copa cada 20 DDAT, como resultado de la diferencia entre medidas partiendo del primer dato, y la suma total al finalizar el ensayo. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas para los tratamientos (p -valor = 0,14; $p > 0,05$). Sin embargo, el tratamiento sombreado incrementó 67 cm, seguido del fertilizado con 63 cm, la interacción sombra más fertilización con 59 cm, y finalmente el control con 49 cm.

Tabla 7. Incremento en cm de diámetro de copa en cacao clon EETP-801

Tratamientos	20 DDAT	40 DDAT	60 DDAT	80 DDAT	TOTAL
Control	17	19	5	8	49
Sombreado	30	23	7	8	67
Fertilizado	34	16	5	9	63
Sombra*Fertilización	24	20	7	8	59
C.V.	43,00	45,45	54,98	106,02	22,16
Sombra	ns	ns	ns	ns	ns
Fertilización	ns	ns	ns	ns	ns
Sombra*Fertilización	ns	ns	ns	ns	ns

DDT: días durante los la aplicación de los tratamiento; **ns:** no significativo; **C.V.:** coeficiente de variación.

6.5 Longitud del brote

En la Figura 10, se muestra la dinámica de crecimiento de los brotes para los tratamientos, donde se encontraron diferencias estadísticamente significativas (p -valor = 0,001; $p < 0,05$), siendo el tratamiento sombra más fertilización el mejor al finalizar el ensayo, el cual, a los 100 DDAT alcanzó brotes de 20,8 cm de longitud.

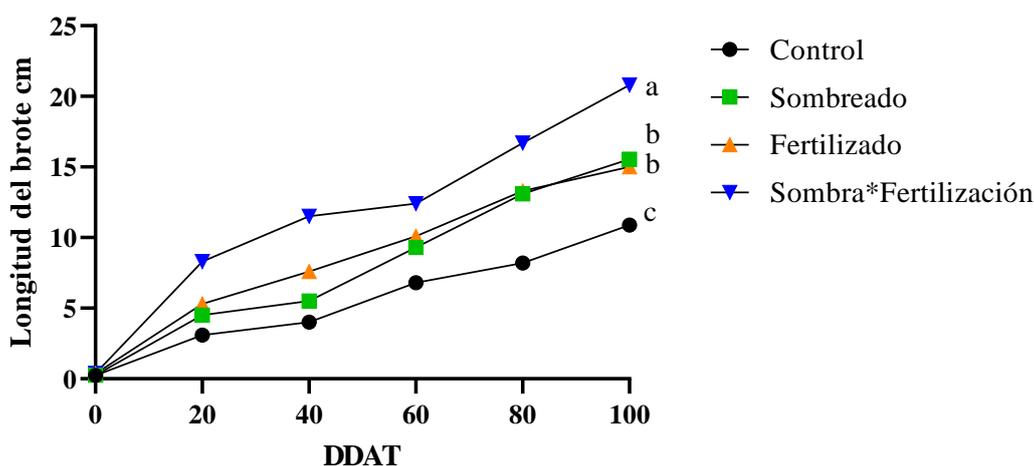


Figura 10. Crecimiento del brote en cacao clon EETP-801. Letras diferentes indican diferencias estadísticas. **DDAT:** días durante la aplicación de los tratamientos.

La Tabla 8, muestra el crecimiento longitudinal del brote en cm desde los 0 a 100 DDAT. Se encontró diferencias estadísticas e interacción entre los factores.

Tabla 8. Crecimiento longitudinal en cm del brote en cacao clon EETP-801

Tratamientos	0 DDAT	20 DDAT	40 DDAT	60 DDAT	80 DDAT	100 DDAT
Control	0,25	3,1 c	4,0 d	6,8 c	8,2 c	10,9 c
Sombreado	0,27	4,5 b	5,5 c	9,3 b	13,1 b	15,6 b
Fertilización	0,35	5,3 b	7,6 b	10,1 b	13,3 b	15,0 b
Sombra y Fertilización	0,38	8,3 a	11,5 a	12,4 a	16,7 a	20,8 a
C.V	39,60	23,54	17,25	13,38	12,03	11,13
Sombra	ns	***	***	***	***	***
Fertilización	**	***	***	***	***	***
Sombra*Fertilización	ns	*	*	ns	ns	ns

DDAT: días durante la aplicación de los tratamientos; Letras diferentes en columna indican diferencias estadísticas; * $p < 0,05$; ** $p < 0,005$; *** $p < 0,0005$; **C. V.:** coeficiente de variación; **ns:** no significativo.

A los 20 y 40 DDAT se encontraron diferencias estadísticamente significativas (p -valor = 0,001; $p < 0,05$) por efecto de la interacción de la sombra y la fertilización. La interacción muestra que la diferencia de la longitud del brote entre los niveles de sombra 80 % con 4,49 cm y 0% con 3,1 cm, es mayor cuando están relacionadas con la fertilización al 100 % y menor

cuando interacciona con la fertilización al 0 %, el mismo comportamiento ocurre en la interacción a los 40 DDAT, es decir, si a la sombra (0 % o 80 %) añadimos la fertilización al 100 % la longitud de los brotes se incrementa (Figura 11)

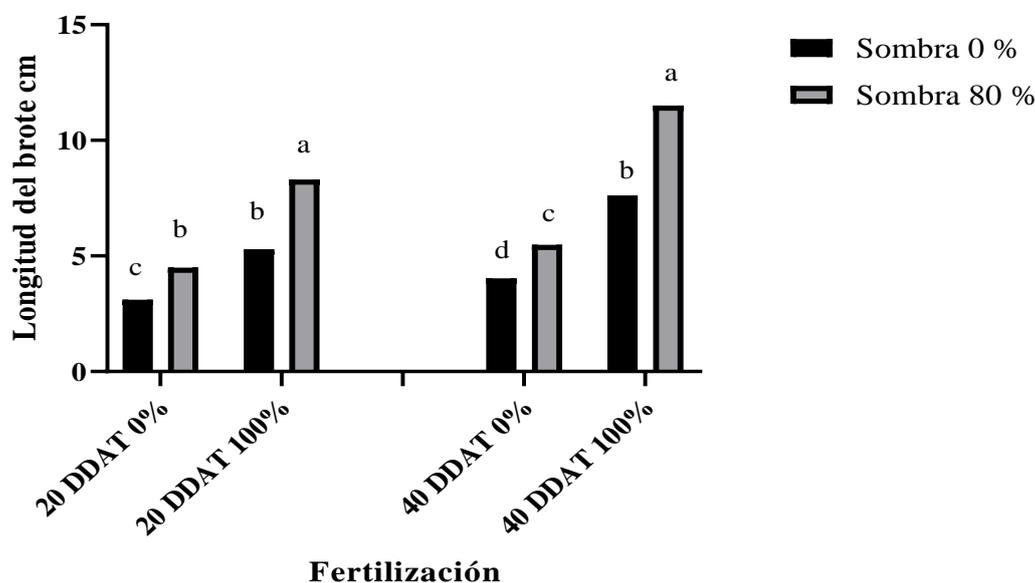


Figura 11. Interacción de la Fertilización (0 % y 100 %) en función de la Sombra (0 % y 80 %), en la longitud del brote, en cacao clon EETP-801. **DDAT:** días durante la aplicación de los tratamientos.

6.6 Tasa de crecimiento absoluta (TCA) y tasa de crecimiento relativa (TCR)

En la Tabla 9, se muestra la TCA de acuerdo al crecimiento de los brotes, donde se encontró diferencias estadísticamente significativas (p -valor = 0,001; $p < 0,05$), observando que, a los 20 DDAT la interacción sombra más fertilización es el mejor tratamiento, con una TCA más alta de $0,40 \text{ cm día}^{-1}$, el mismo comportamiento, a los 40, 80 y 100 DDAT.

Tabla 9. Tasa de crecimiento absoluta (TCA) en cm día^{-1} en brotes de cacao clon EETP-801

Tratamientos	20 DDAT	40 DDAT	60 DDAT	80 DDAT	100 DDAT
Control	0,14 c	0,05 b	0,14 b	0,07 b	0,09 b
Sombreado	0,21 b	0,05 b	0,19 a	0,19 a	0,12 b
Fertilización	0,25 b	0,12 a	0,12 b	0,16 a	0,13 b
Sombra*Fertilización	0,40 a	0,16 a	0,04 c	0,22 a	0,21 a
C.V	24,88	53,69	38,31	33,70	42,77
Sombra	***	ns	ns	***	**
Fertilización	***	***	***	***	ns
Sombra*Fertilización	*	ns	***	ns	***

DDAT: días durante la aplicación de los tratamientos; Letras diferentes en columna indican diferencias estadísticas; * $p < 0,05$; ** $p < 0,005$; *** $p < 0,0005$; **C. V.:** coeficiente de variación; **ns:** no significativo.

En la Figura 12, se muestra la interacción de la sombra y la fertilización. A los 20 DDAT la interacción muestra que la diferencia de la TCA entre los niveles de sombra 80 % con 0,21 cm día⁻¹, y 0 % con 0,14 cm día⁻¹, es mayor cuando interacciona con la fertilización al 100 % y menor cuando interacciona con la fertilización al 0 %, es decir, si a la sombra (0 % o 80 %) añadimos la fertilización al 100 % la TCA se incrementa, el mismo comportamiento se manifiesta a los 100 DDAT. Mientras que, a los 60 DDAT la TCA disminuye al aplicar la fertilización al 100 %, de manera general la fertilización en interacción con la sombra al 80 % incrementó la TCA.

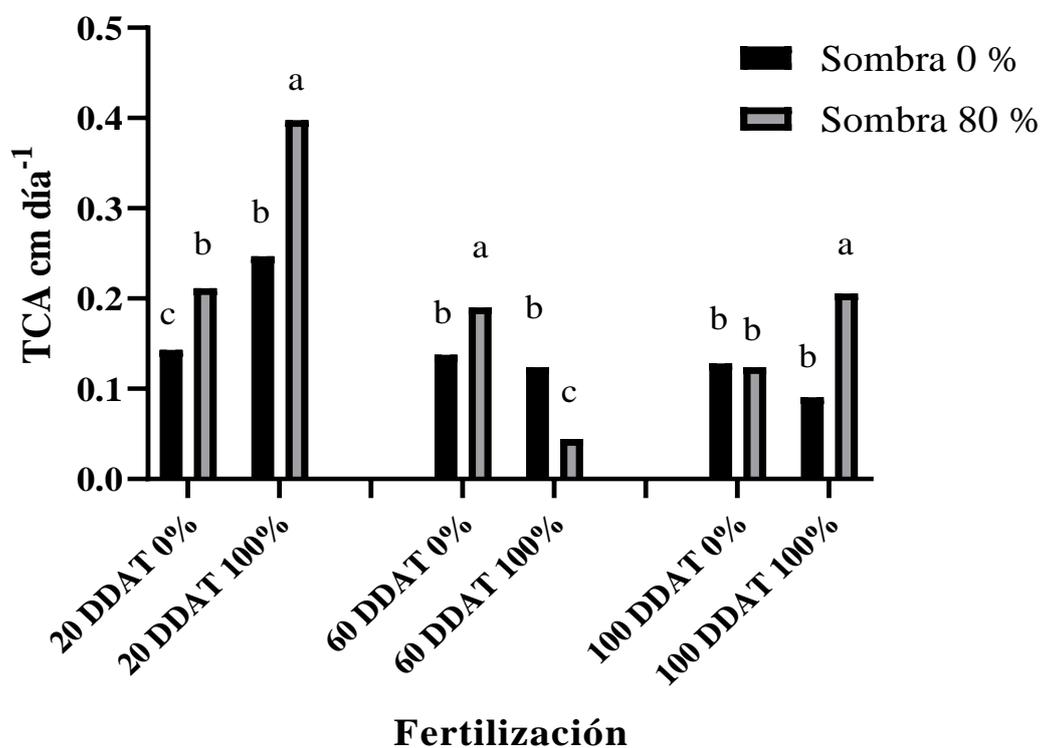


Figura 12. Efecto de la interacción de la fertilización (0 % y 100 %) en función de la sombra (0 % y 80 %), en la TCA, en cacao clon EETP-801. *DDAT*: días durante la aplicación de los tratamientos.

La Tabla 10, muestra la TCR evaluada a los 20, 40, 60, 80 y 100 DDAT. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas (p -valor = 0,004; $p < 0,05$) a partir de los 60 hasta los 100 DDAT, siendo a los 60 DDAT el control y sombreado los mejores tratamientos con 0,020 y 0,021 cm(cm día⁻¹), respectivamente. A los 80 DDAT el sombreado con 0,014 cm(cm día⁻¹) y sombra más fertilización con 0,013 cm(cm día⁻¹) son los mejores tratamientos. A los 100 DDAT se encontró el control es el mejor tratamiento con mayor TCR.

Tabla 10. Tasa de crecimiento relativa en cm (cm día^{-1}) en cacao clon EETP-801

Tratamientos	20 DDAT	40 DDAT	60 DDAT	80 DDAT	100 DDAT
Control	0,046	0,011	0,020 a	0,008 b	0,012 a
Sombreado	0,045	0,010	0,021 a	0,014 a	0,008 ab
Fertilización	0,046	0,015	0,012 b	0,012 ab	0,006 b
Sombra y Fertilización	0,048	0,014	0,004 c	0,013 a	0,010 ab
C.V.	7,84	63,36	30,40	32,08	40,35
Sombra	ns	ns	**	**	ns
Fertilización	ns	ns	***	ns	*
Sombra*Fertilización	ns	ns	**	*	**

DDAT: días durante la aplicación de los tratamientos; Letras diferentes en columna indican diferencias estadísticas; * $p < 0,05$; ** $p < 0,005$; *** $p < 0,0005$; **C. V.:** coeficiente de variación; **ns:** no significativo.

En la Figura 13, se presentan las interacciones a los 60, 80 y 100 DDAT. La interacción a los 60 DDAT muestra que la diferencia de la TCR de los niveles de sombra 0 % con $0,02 \text{ cm día}^{-1}$ y 80 % con $0,021 \text{ cm día}^{-1}$, es menor cuando interacciona con la fertilización al 100 %, pero es mayor o incrementa con la fertilización al 0%. La interacción a los 80 DDAT indica que la TCR con los niveles de sombra 0 % $0,008 \text{ cm día}^{-1}$ se incrementa al interaccionar con la fertilización al 0 % a $0,012 \text{ cm día}^{-1}$, mientras que la sombra al 80 % con $0,014 \text{ cm día}^{-1}$ disminuye al interaccionar con la fertilización al 100 % a $0,013 \text{ cm día}^{-1}$. La interacción a los 100 DDAT, muestra que la TCR con los niveles de sombra 0 % con $0,012 \text{ cm día}^{-1}$ incrementa al interaccionar con la fertilización al 100 % a $0,06 \text{ cm día}^{-1}$, de la misma forma con sombra 80 % con $0,008 \text{ cm día}^{-1}$ se incrementa al interaccionar con la fertilización al 100 % a $0,01 \text{ cm día}^{-1}$. De manera general la sombra (0 % y 80 %) en interacción con la fertilización al 100 % incrementa la TCR, en dependencia del momento de crecimiento.

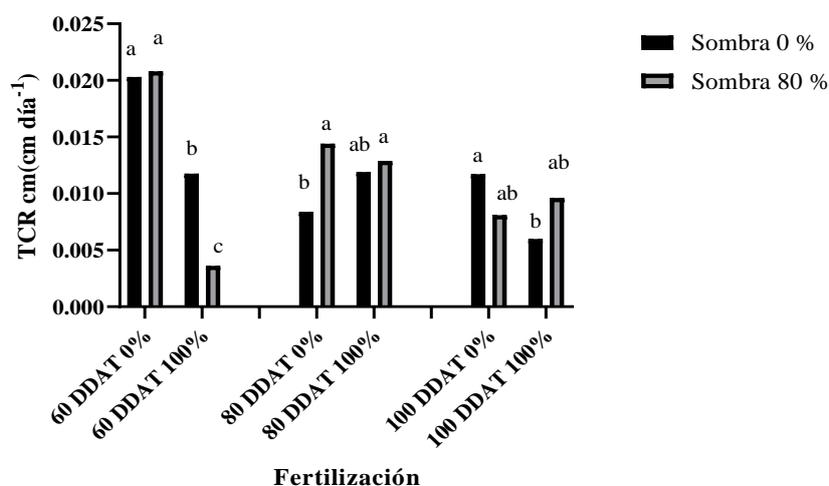


Figura 13. Efecto de la interacción de la fertilización (0 % y 100 %) en función de la sombra (0 % y 80 %), en la TCR, en cacao clon EETP-801. **DDAT:** días durante la aplicación de los tratamientos.

6.7 Concentración de clorofila

En la Tabla 11, se muestran los resultados de clorofila A, B y Total a los 140 DDAT, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas (p -valor = 0,79; 0,55; 0,70, respectivamente; $p > 0,05$). Sin embargo, se encontró que para la clorofila A, el tratamiento sombreado presento el valor más alto con $38,9 \text{ ml g}^{-1}$, seguido del control con $34,3 \text{ ml g}^{-1}$, el fertilizado con $34,1 \text{ ml g}^{-1}$, y finalmente la sombra más fertilización con $32,7 \text{ ml g}^{-1}$. Para la concentración de clorofila B el sombreado presento el valor más alto con $20,5 \text{ ml g}^{-1}$, seguido del control con $16,4 \text{ ml g}^{-1}$, luego la sombra más fertilización con $15,9 \text{ ml/g}$, y finalmente el fertilizado con $15,8 \text{ ml g}^{-1}$.

Tabla 11. Concentración de clorofila A, B y Total a los 140 DDAT en cacao clon EETP-801

Tratamientos	Clorofila A	Clorofila B	Clorofila Total	Clorofila A/B
Control	34,3	16,4	50,7	2,1
Sombreado	38,9	20,5	59,4	1,9
Fertilizado	34,1	15,8	49,9	2,2
Sombra*Fertilización	32,7	15,9	48,6	2,1
C.V.	22,70	26,12	23,46	11,00
Sombra	ns	ns	ns	ns
Fertilización	ns	ns	ns	ns
Sombra*Fertilización	ns	ns	ns	ns

DDAT: días durante la aplicación de los tratamientos; **C. V.:** coeficiente de variación; **ns:** no significativo.

En la Figura 14, se presentan los contenidos de clorofila total. Se observa, que el tratamiento sombreado presenta mayor contenido de clorofila total con $59,4 \text{ ml g}^{-1}$, seguido del control con $50,7 \text{ ml g}^{-1}$, el fertilizado con $49,9 \text{ ml g}^{-1}$, y finalmente el tratamiento con sombra más fertilización con $48,6 \text{ ml g}^{-1}$.

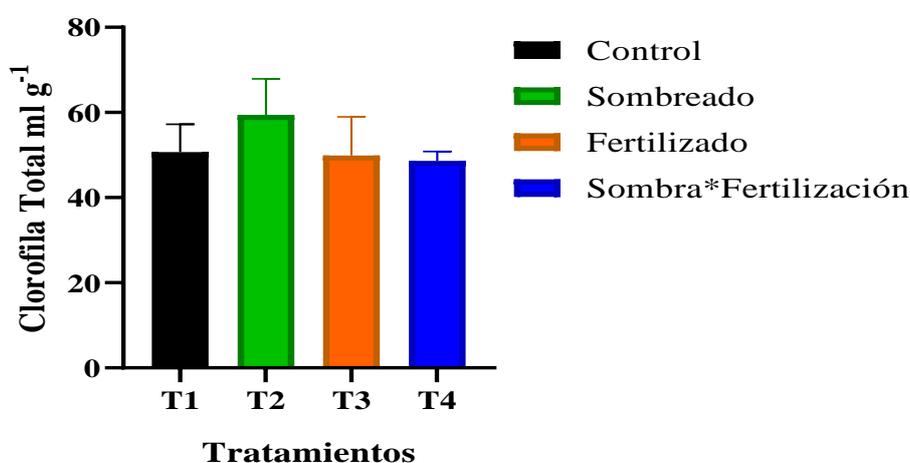


Figura 14. Contenido de clorofila Total en cacao clon EETP-801.

6.8 Estructura anatómica de las hojas

En la Tabla 12, se muestran las estructuras anatómicas de las hojas. Se encontró diferencias estadísticamente significativas para largo de estomas (p -valor = 0,041; $p < 0,05$). Para las variables ancho de estoma, ancho de célula oclusiva, ancho de epidermis y ancho de lámina foliar no se encontraron diferencias estadísticamente significativas (p -valor = 0,53; 0,24; 0,62; 0,94, respectivamente; $p > 0,05$).

Tabla 12. Estructuras anatómicas de las hojas de cacao clon EETP-801 a los 140 DDAT

Tratamientos	Largo estoma μm	Ancho de estoma μm	Ancho de célula oclusiva	Ancho de epidermis	Ancho de lámina foliar
Control	14,4 ab	15,61	5,66	26,06	154,2
Sombreado	13,8 b	15,16	5,02	25,31	161,4
Fertilizado	14,3 ab	15,25	5,56	23,67	158,5
Sombra*Fertilización	15,8 a	15,91	5,47	25,36	163,5
C.V.	4,96	4,30	6,93	8,94	12,45
Sombra	ns	ns	ns	ns	ns
Fertilización	*	ns	ns	ns	ns
Sombra*Fertilización	*	ns	ns	ns	ns

DDAT: días durante la aplicación de los tratamientos; Letras diferentes en columna indican diferencias estadísticas; * $p < 0,05$; ** $p < 0,005$; *** $p < 0,0005$; **C. V.:** coeficiente de variación; **ns:** no significativo.

La interacción muestra que la diferencias en la longitud de los estomas, entre los niveles de sombra 0 % con 14,4 μm y 80 % con 13,8 μm , es mayor cuando interacciona con la fertilización al 100 % y menor cuando interacciona con la fertilización al 0 % (Figura 15).

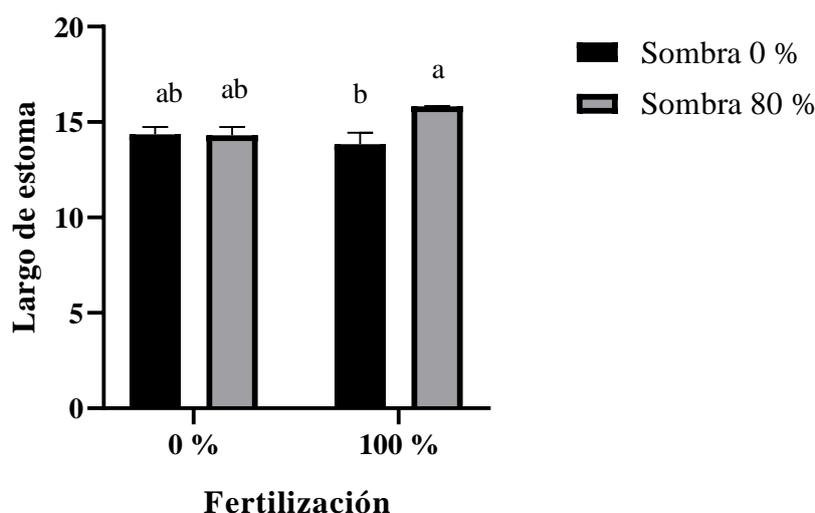


Figura 15. Efecto de la interacción de la fertilización (0 % y 100 %) en función de la sombra (0 % y 80 %), en la longitud de estoma, en cacao clon EETP-801.

6.9 Densidad estomática

En la Tabla 13, se muestra la densidad estomática en mm^{-2} . A los 164 DDAT se encontraron diferencias estadísticamente significativas para el número de estomas, número de células epidérmicas e índice estomático (p -valor = 0,001; 0,03; 0,004, respectivamente; $p < 0,05$). Para el número de estomas, se observa que, el control es el mejor tratamiento con 991 estomas mm^{-2} . En cuanto al número de células epidérmicas, se observa que el mejor tratamiento es el control con 3 125 células epidérmicas mm^{-2} . Para el índice estomático, se observa que los mejores tratamientos son el control y sombreado con 24,1 y 21,1, respectivamente.

Tabla 13. Número de estomas, células epidérmicas e índice estomático, en cacao EETP-801

Tratamientos	Nº de estomas mm^2	Nº de células epidérmicas mm^2	Índice estomático
Control	991 a	3 125 a	24,1 a
Sombreado	712 b	2 664 b	21,1 a b
Fertilizado	618 b	2 951 a b	17,3 b c
Sombra*Fertilización	497 b	2 885 a b	14,7 c
C.V.	13,45	6,01	11,75
Sombra	**	*	ns
Fertilización	***	ns	**
Sombra*Fertilización	ns	ns	ns

Letras diferentes en columna indican diferencias estadísticas; * $p < 0,05$; ** $p < 0,005$; *** $p < 0,0005$; C. V.: coeficiente de variación; ns: no significativo.

En la Figura 16, también se muestran las diferencias estadísticamente significativas para los tratamientos, en cuanto al número de estomas y número de células epidérmicas.

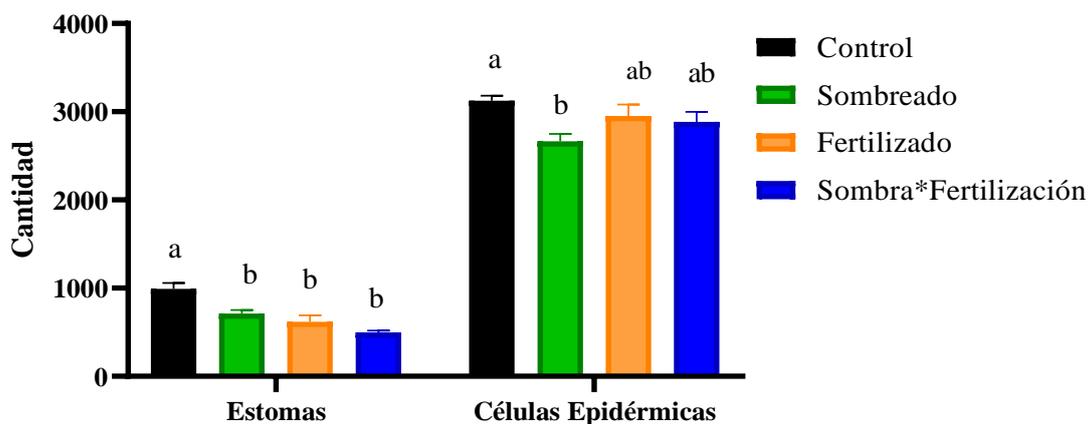


Figura 16. Número de estomas y células epidérmicas en cacao clon EETP-801. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas.

En la Figura 17, también se identifica que el control es el mejor tratamiento para el índice estomático, y es diferente estadísticamente con los tratamientos fertilización y el de sombra más fertilización, es decir la fertilización y la interacción con la sombra redujeron el índice estomático.

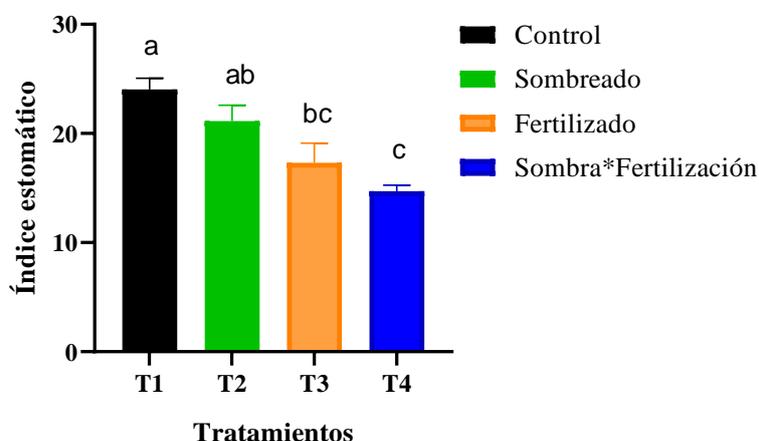


Figura 17. Índice estomático en cacao clon EETP-801

6.10 Determinación del pH y conductividad eléctrica (CE)

6.10.1 El pH en el suelo

En la Tabla 14, se muestran las evaluaciones del pH desde el inicio hasta el final del ensayo. Identificando que, a medida que se fueron aplicando los tratamientos existieron cambios en el pH del suelo, a los 80 DDAT se encontraron diferencias estadísticamente significativas (p -valor = 0,001; $p < 0,05$), donde, los mejores tratamientos son el sombreado con 5,6 y el control con 5,5 de pH. A los 120 DDAT (p -valor = 0,004; $p < 0,05$), los mejores tratamientos son el control y el sombreado con 5,6 y 5,5.

Tabla 14. Evaluación del pH en el suelo en cacao clon EETP-801

Tratamientos	0 DDAT	20 DDAT	40 DDAT	60 DDAT	80 DDAT	100 DDAT	120 DDAT	140 DDAT
Control	5,6	5,5	5,4	5,4	5,5 a	5,6	5,6 a	5,2
Sombreado	5,5	5,5	5,5	5,7	5,6 a	5,4	5,5 ab	5,2
Fertilizado	5,6	5,2	5,2	5,1	4,7 b	5,0	4,7 c	4,7
Sombra* Fertilización	5,6	5,5	5,0	5,1	4,9 b	4,9	4,9 bc	4,6
C.V.	7,94	7,75	6,11	7,44	5,25	7,03	6,55	6,09
Sombra	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Fertilización	ns	ns	ns	*	***	**	****	**
BSombra* Fertilización	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

DDAT: días durante la aplicación de los tratamientos; Letras diferentes en columna indican diferencias estadísticas; * $p < 0,05$; ** $p < 0,005$; *** $p < 0,0005$; **C. V.:** coeficiente de variación; **ns:** no significativo.

En la Figura 18, también se muestra la dinámica del pH en el suelo durante la aplicación de los tratamientos, resumiendo, se idéntica diferencias a los 80 DDAT encontrando que la fertilización y la interacción sombra más fertilización provocan que se reduzca el pH en el suelo, así mismo, a los 100 DDAT la fertilización provocó que el pH disminuya en el suelo, al analizar la gráfica se puede decir que en todos los tratamientos el pH disminuyó en el suelo, sin embargo, es los tratamientos con fertilización y su interacción presentan datos más bajos para el pH.

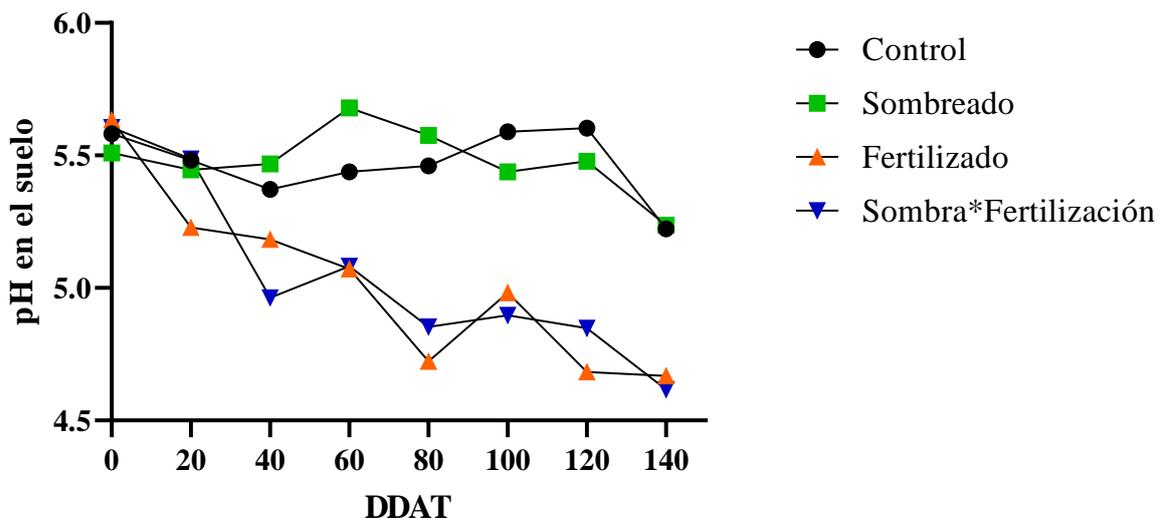


Figura 18. Dinámica del pH en el suelo durante la aplicación de los tratamientos.

6.10.2 Conductividad eléctrica (CE) en el suelo

En la Tabla 15, se muestran los datos de CE en el suelo en mS cm^{-1} . A los 60 DDAT se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p\text{-valor} = 0,009$; $p < 0,05$), el tratamiento sombra más fertilización presenta $0,87 \text{ mS cm}^{-1}$ y es diferente. También a los 80 DDAT ($p\text{-valor} = 0,018$; $p < 0,05$), el tratamiento fertilizado con $1,28 \text{ mS cm}^{-1}$ es estadísticamente igual al tratamiento sombra más fertilización $0,63 \text{ mS cm}^{-1}$, pero es diferente para los tratamientos sombreado $0,42 \text{ mS cm}^{-1}$ y control $0,28 \text{ mS cm}^{-1}$.

Tabla 15. Conductividad eléctrica del suelo en cacao clon EETP-801

Tratamientos	0 DDAT	20 DDAT	40 DDAT	60 DDAT	80 DDAT	100 DDAT	120 DDAT	140 DDAT
Control	0,39	0,27	0,32	0,33 b	0,29 b	0,33	0,31	0,27
Sombreado	0,36	0,29	0,38	0,31 b	0,42 b	0,50	0,30	0,28
Fertilizado	0,47	0,80	0,92	0,53 ab	1,28 a	0,73	0,62	0,72
Sombra*Fertilización	0,34	0,50	0,98	0,87 a	0,63 ab	0,53	0,97	0,79
C.V	58,77	56,32	72,49	41,96	60,69	40,11	71,12	78,78
Sombra	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Fertilización	ns	*	*	**	*	ns	*	*
Sombra*Fertilización	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

DDAT: días durante la aplicación de los tratamientos; Letras diferentes en columna indican diferencias estadísticas; *p < 0,05; ** p < 0,005; *** p < 0,0005; **C. V.:** coeficiente de variación; **ns:** no significativo.

En la Figura 19, se muestra la dinámica de la CE en el suelo por efecto de los tratamientos, resumiendo, a los 60 DDAT el tratamiento sombra más fertilización es igual que el tratamiento fertilizado, pero diferente para el sombreado y el control. A los 80 DDAT el tratamiento fertilizado es estadísticamente igual al tratamiento con sombra más fertilización, pero, es diferente para el sombreado y para el control. Se observa según la figura que la CE en el suelo se ve incrementada para los tratamientos, fertilizado y el de sombra más fertilización, es decir la fertilización incrementó la CE en el suelo.

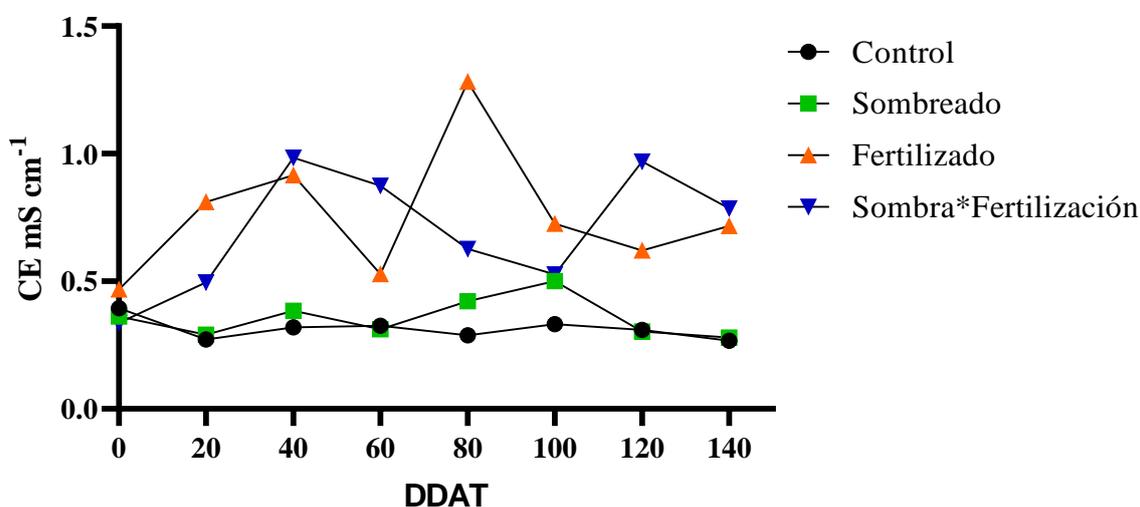


Figura 19. Dinámica de la conductividad eléctrica en suelo para los tratamientos en cacao EETP-801.

6.11 Correlaciones entre variables

La Tabla 16, muestra las correlaciones entre las variables altura de planta, índice de área foliar (IAF), ASTT del porta-injerto y en la vareta, diámetro de copa, largo de estoma, ancho de

célula oclusiva, ancho de epidermis, ancho de lámina foliar, número de estomas, número de células epidérmicas, índice estomático (IE), clorofila A, clorofila B y clorofila total.

Tabla 16. *Correlaciones de variables morfológicas y fisiológicas en cacao clon EETP-801*

Variable 1	Variable 2	Pearson	P valor	Significancia
Altura de planta	IAF	0,69	0,0002	***
	ASTT porta-injerto	0,61	0,0014	**
	ASTT en la vareta	0,56	0,0046	**
	Diámetro de copa	0,69	0,0002	***
ASTT del porta-injerto	ASTT en la vareta	0,78	<0,0001	***
	IAF	0,72	0,0001	***
	Diámetro de copa	0,78	<0,0001	***
ASTT del injerto	IAF	0,70	0,0001	***
	Diámetro de copa	0,66	0,0004	***
IAF	Diámetro de copa	0,77	<0,0001	***
Largo de estoma	Ancho de estoma	0,68	0,0144	*
	Ancho de célula oclusiva	0,41	0,1889	ns
	Ancho de epidermis	-0,003	0,3306	ns
	Ancho de lámina foliar	0,15	0,6453	ns
Ancho de estoma	Ancho de célula oclusiva	0,62	0,0324	*
	Ancho de epidermis	-0,26	0,4163	ns
	Ancho de lámina foliar	-0,13	0,6899	ns
Ancho de célula oclusiva	Ancho de epidermis	-0,15	0,6490	ns
	Ancho de lámina foliar	-0,17	0,6015	ns
Ancho de epidermis	Ancho de lámina foliar	0,74	0,0059	**
Número de estomas	Número de células epidérmicas	0,35	0,2606	ns
	IE	0,95	<0,0001	***
Clorofila A	Clorofila B	0,93	<0,0001	***
	Clorofila total	0,99	<0,0001	***
Clorofila B	Clorofila Total	0,97	<0,0001	***
CE	pH	-0,67	0,0043	**

Los valores son medias de tres repeticiones; * efecto significativo $p < 0,05$; ** efecto muy significativo $p < 0,01$; *** efecto altamente significativo $p < 0,001$.

Los análisis de correlaciones se realizaron con el coeficiente de Pearson $> 0,6$ y con significancia de ($p < 0,05$). Las variables que presentaron una fuerte correlación positiva son: altura de planta con el IAF y el diámetro de copa ($r = 0,69$; $p < 0,0002$), ASTT del porta-injerto se correlaciona con el ASTT de la vareta, IAF, diámetro de copa ($r = 0,78$; $0,72$ y $0,78$ respectivamente; y $p < 0,0001$), ASTT de la vareta con el IAF y diámetro de copa ($r = 0,70$ y $0,66$; $p < 0,0001$ y $0,0004$ respectivamente), IAF con el diámetro de copa ($r = 0,77$; $p < 0,0001$), el número de estomas con el IE ($r = 0,95$; $p < 0,0001$), clorofila A con clorofila B y clorofila total ($r = 0,93$ y $0,99$ respectivamente; $p < 0,0001$), y clorofila B con clorofila total ($r = 0,97$; $p < 0,0001$).

7. DISCUSIÓN

A los 80 DDAT (días durante la aplicación de los tratamientos) no se encontraron diferencias estadísticas para altura de la planta, sin embargo, el tratamiento fertilizado obtuvo una mayor altura mientras que el tratamiento control presentó menor altura. Para el incremento en altura de la planta durante la aplicación de los tratamientos, el control incrementó a mayor ritmo, esto indica, el poco efecto de la sombra y la fertilización sobre esta variable. Los resultados se asemejan con los reportados por Álvarez *et al.*, (2015) donde no encontraron diferencias estadísticas para el incremento de altura de planta utilizando diferentes fuentes de fertilizantes en cacao en etapa de crecimiento, así mismo Orozco & Thienhaus, (1997) no encontraron diferencias para la altura de la planta, al aplicar distintas dosis de gallinaza y fertilización mineral, y manifiestan que el menor efecto en el crecimiento lo presentó el tratamiento con fertilización, asemejándose a los resultados encontrados.

Los mismos autores afirman que la altura de la planta es una variable de comportamiento muy irregular, que está muy influenciada por el genotipo. También es probable, que al tratarse de plantas de la misma edad, los fotoasimilados estén destinados a otras funciones distintas al incremento en altura Orozco & Thienhaus, (1997). Además, la altura de la planta, es un dato menos confiable que el ASTT (área la sección transversal del tronco), por motivo de una mayor exposición a factores bióticos y abióticos.

El ASTT por encima de la unión del injerto y por debajo del injerto, no presentó diferencias estadísticas al inicio y a los 140 DDAT, sin embargo, se observó que a los 140 DDAT el tratamiento fertilizado obtuvo 17,9 cm², seguido del sombreado con 15,9 cm², luego el tratamiento sombra más fertilización con 15,4 cm², y finalmente el control con 12,1 cm². Los resultados reflejan que la fertilización y la sombra incrementan sensiblemente el ASTT, en estudios realizados por Álvarez *et al.*, (2015) con enmiendas orgánicas e inorgánicas, encontraron que la fertilización produce incremento en el desarrollo del tallo.

Considerando que el cacao es una planta cauliforme, la producción de flores y frutos está relacionada al área de los tallos, y una mínima diferencia puede generar un incremento en el rendimiento en el cultivo. Así mismo, Rojas, (2012) manifiesta que durante el establecimiento el cacao inmoviliza nutrientes para formar su estructura, lo cual coincide con el poco desarrollo del control. Además, el buen comportamiento bajo sombra coincide con lo encontrado por

Enríquez, (2006), que manifiesta que el cacao bajo la protección de la sombra demanda menos cantidad de nutrimentos, ya que no requieren de tanto nitrógeno y fósforo para formar proteínas, ni tanto potasio para estimular el crecimiento y acelerar la translocación de carbohidratos hacia el sistema radical.

Se identificó que el control incrementó a menor ritmo el ASTT, esto explica la escasa respuesta de los tratamientos al incremento en altura de la planta, identificando que en este periodo el crecimiento en altura deja de ser prioridad para la planta de cacao. También, se ha reportado que las plantas de cacao se saturan a densidades de flujo fotónico comprendidas entre los 400 y 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ intensidades entre el 25 % y 30 % de la radiación de un día despejado Jaimez *et al.*, (2008), lo que explica que las plantas provistas de sombra no se saturan manifestando mayor incremento del ASTT frente al control. Así mismo, AlmeidaI & Valle, (2007) afirman que el cacao tolera la sombra conduciendo a tasas de fotosíntesis relativamente mas altas y considera que la intercepcion de la luz está realcionada con la disponibilidad de nutrientes.

El área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF) no presentaron diferencias estadísticas significativas, sin embargo, el tratamiento fertilizado alcanzó mayor AF de 4,2 m², seguido la interacción sombra más fertilización con 3,4 m², luego el sombreado con 3,1 m² y finalmente el control con 2,4 m², según los datos tanto la sombra como la fertilización producen un sensible incremento en el AF, lo que ratifica los estudios realizados por James & Bell, (2000) donde manifiesta, que las plantas que crecen en ambientes sombreados tienen mayor área foliar, lo que les permite aumentar la intercepción de la luz.

También, Caldari, (2007) afirma que la luz actúa sobre la transpiración, la asimilación del carbono, la temperatura de las hojas, el balance hídrico y, el crecimiento de órganos y tejidos como el desarrollo de tallos y expansión de las hojas. Según los datos encontrados se asemejan con los hallazgos de Enríquez, (2006), donde, encontró que plantas expuestas a plena exposición solar fueron sensiblemente más pequeñas que aquellas que crecieron bajo tres tipos diferentes de sombra, y manifiesta que el cultivo a plena exposición solar requiere grandes cantidades de agua y fertilizantes, lo que explica el comportamiento con mayor AF del tratamiento fertilizado y menor AF del control.

También Jaimez *et al.*, (2008) manifestó que el cacao a plena exposición solar requiere fertilización, especialmente de K⁺, y altas dosis de N que pueden disminuir la fotoinhibición

en plantas de sombra. Además, Jerez & Martín, (2014) manifiesta que las hojas son órganos especializados y responsables de producir los compuestos primarios que por transformación y translocación darán lugar a la producción. Siendo así, Morales, (2006) indicó que la superficie foliar con que cuenta una planta influye directamente en su actividad fotosintética, y en la acumulación de masa seca. Explicando de esta manera las diferencias sensibles en cuanto al ASTT y diámetro de copa. Relacionando lo anterior, Hernández & Soto, (2012) señalan que para lograr un rápido crecimiento de las plantas jóvenes, es importante un incremento sustancial de la superficie foliar en la fase vegetativa inicial. También en otras especies, resultados de Guarnaschelli *et al*, (2009) donde encontraron que plantas de *Eucalyptus sp* expuestas al sol y a la sombra de 50 y 75 % observaron aumentos en el AF y en los coeficientes foliares.

La variable diámetro de copa no presentó diferencias estadísticas, pero se evidencia que el tratamiento sombreado presentó mayor diámetro con 150 cm y mayor ritmo de incremento durante el tiempo evaluado, seguido del tratamiento sombra más fertilización con 139 cm, luego el fertilizado con 136 cm, finalmente el control con 118 cm y con el menor incremento durante el tiempo de evaluación, el orden de los datos son semejantes al AF, es decir, que mientras mayor diámetro de copa presentaron las plantas el AF también incremento, es importante mencionar que si la tendencia se mantiene los mejores tratamientos para incrementar el AF, el diámetro de copa y por ende una mejor calidad de planta sería la aplicación de sombra y/o fertilización, ya que según Villar, (2003) las plantas que están en mejores condiciones de captar más recursos del ambiente (luz, agua y nutrientes) tienen mayor capacidad competitiva y logran mayor biomasa en menos tiempo.

A los 140 DDAT la concentración de clorofila A, B y Total, no presentaron diferencias estadísticas, sin embargo, existen una diferencia sensible, así el tratamiento sombreado, presentó el valor más alto para clorofila A, B y Total, seguido del tratamiento control con valores muy similares al resto de tratamientos. Conociendo que la clorofila es la responsable de captar la energía solar su contenido es muy importante para el crecimiento, lo que se asume que los tratamientos no produjeron mayor efecto en el contenido de clorofila.

Estudios realizados por Rodríguez & Valdes, (2002) reportaron que en cafetos bajo sombra tienen mayor contenido de pigmentos en los fotosistemas. Azcón & Talón, (2008) señalan que las plantas experimentan estrés por luz cuando las clorofilas absorben más energía luminosa

que la que puede ser utilizada para la fotosíntesis. Los resultados son similares a los descritos por AlmeidaI & Valle, (2007) donde encontraron que la baja disponibilidad de luz, indujo a las células a un incremento en la concentración de la clorofila para recompensar la intersección de luz y optimizar la fotosíntesis.

Los resultados son independientes de la fertilización, presumiendo que la condición particular del suelo, al no presentar déficit de elementos, los tratamientos con fertilización no inciden en la concentración de clorofila, sin embargo, a medida que los nutrientes son absorbidos por la planta y extraídos en forma de cosecha las condiciones del suelo pueden cambiar y se puede evaluar nuevamente el comportamiento. Así mismo, Pin, *et al*, (2018) demostraron que el contenido de clorofila cambia en distintos clones de cacao, siempre y cuando estén relacionados con ambientes secos o presencia de déficit hídrico, condiciones que no se presentaron en el estudio.

La longitud del brote presentó diferencias estadísticas a partir de los 20 DDAT, al finalizar la investigación, la interacción sombra más fertilización presentó mayor crecimiento de los brotes, siendo diferente para el resto de tratamientos, también se encontró que los tratamientos sombreado y fertilizado presentan mayor crecimiento con diferencias significativas frente al control. Lo que evidencia que la interacción sombra más fertilización incrementa la longitud de los brotes, al igual que los factores sombra y fertilización frente al control. Los resultados afirman a Jaimez *et al.*, (2018) que manifiesta que platas en estados juveniles requieren densidades bajas de flujo fotónico, lo que explica el comportamiento de los tratamientos con sombreado. También Gómez, (2002) encontró que la longitud de los entrenudos fueron reducidos bajo plena exposición solar.

La mayor tasa de crecimiento absoluta (TCA) se presentó con diferencias estadísticas durante todas las evaluaciones a partir de los 20 DDAT, en general, la interacción sombra más fertilización es superior y diferente frente al resto de tratamientos, también se encontró, que los tratamientos sombreado y fertilizado son superiores y diferentes frente al control. La TCA, al ser una parámetro que utilizo la longitud del brote, los resultados afirman la influencia de la sombra, la fertilización y su interacción como mejores tratamientos para conseguir mayor crecimiento.

A los 140 DDAT no se encontraron diferencias estadísticas para las estructuras anatómicas de las hojas; ancho de estoma, ancho de célula oclusiva, ancho de epidermis y ancho de lámina foliar, sin embargo, se encontraron diferencias estadísticas para largo de estoma p-valor $< 0,05$, así, la interacción sombra más fertilización presentó estomas más largos y es diferente para el tratamiento sombreado con estomas más cortos, pero para los tratamientos control, fertilizado no presentan diferencias. Es decir la interacción sombra más fertilización produjo diferencias en el largo de los estomas, la sombra provocó que los estomas tengan menor longitud, sin embargo, al añadir la fertilización los estomas adquieren una mayor longitud, probablemente este comportamiento se deba a una mayor actividad fisiológica de las plantas expuestas directamente a la radiación solar, mismo comportamiento ocurría al añadir fertilizantes según la interacción de los factores. En otras especies como cafetos Rodríguez *et al.*, (2016) encontraron únicamente diferencias para el ancho de estomas expuestos a mayor iluminación.

Para el ancho de la epidermis y ancho de lámina foliar no se encontraron diferencias estadísticas, se observa que para el ancho de la epidermis el control fue sensiblemente mayor, seguido de la interacción sombra más fertilización, luego el sombreado y finalmente el fertilizado. Los datos indican que los cacaotales a plena exposición tienen una epidermis más gruesa, explicado por Tezara, *et al.*, (2015) que manifestaron que puede estar sujeto a una acción de adaptabilidad y protección de las hojas expuestas a una alta radiación lumínica, sin embargo, al añadir fertilización el grosor disminuye. Para el ancho de lámina foliar se encontró que la interacción sombra más fertilización fue mayor, seguido del sombreado, luego el fertilizado y finalmente el control, en este contexto Tezara *et al.*, (2015) demostraron la plasticidad fisiológica de los clones de cacao expuestos a diferentes ambientes.

El tratamiento control presentó el mayor número de estomas y con diferencias para el resto de tratamientos, coincidiendo con los resultados de Guarnaschelli *et al.*, (2009) donde encontraron que plantas a plena exposición solar incrementa el número de estomas. También James & Bell, (1995) observó que las plantas que provienen de zonas áridas poseen mayor cantidad de estomas, de menor tamaño, lo cual permite más efectividad en regular la pérdida de agua. En un estudio en café de Córdova, (2017) encontró que la respuesta en densidad estomática estuvo en función de los niveles de luz, así, las hojas que crecieron a pleno sol obtuvieron mayor media de estomas. En este sentido, la reducción en el número de estomas bajo sombra es consiente con una adaptación a ambientes donde la demanda transpiratoria es más reducida. Por otra

parte, las hojas bajo sombra fueron más amplias por lo que la densidad de estomas también puede ser menor.

Las hojas expuestas a la radiación solar presentan mayor número de estomas, probablemente producto del incremento de la actividad fisiológica por acción de la luz, también se explica que al aplicar fertilización se reduce el número de estomas es posible que la planta expuesta a más recursos presente mayor eficiencia fotosintética. Este resultado reviste gran importancia tomando las consideraciones de Álvarez & Escobar, (2015) que la transpiración y la intensidad de la respiración en las plantas son directamente proporcional al número y abertura de los estomas, ya que estos indicadores influyen directamente en la regulación del intercambio gaseoso y la tasa fotosintética en las plantas.

Para el número de células epidérmicas se encontraron diferencias estadísticas para los tratamientos, así, el tratamiento control no presentó diferencias para los tratamientos con fertilización y sombra más fertilización, pero presentó diferencias frente al tratamiento con sombreo, lo que evidencia que las plantas expuestas a plena radiación sin fertilización presentan mayor número de estomas y mayor número de células epidérmicas. Probablemente el resultado este influenciado por el tamaño menor de las hojas en el análisis general de AF, por lo que es necesario determinar el área de las hojas evaluadas, a nivel fisiológico, Tian et al, (2016) explican que la densidad estomática incrementa en cultivos a plena exposición solar, ya que se producen modificaciones en la anatomía de las hojas como mecanismo de plasticidad ante las condiciones con el fin de optimizar el proceso de la fotosíntesis.

Estudios llevados en cafetos por Córdova *et al*, (2016) encontraron que la densidad estomática fue mayor en el tratamiento a plena exposición solar, también Rodríguez et al, (2016) con los mismos resultados, indica que la radiación solar favorece el agrupamiento de los estomas, presumiblemente por el menor tamaño de las hojas.

El mayor índice estomático (IE) se registró para el control siendo semejante con el tratamiento con sombreo, pero presentó diferencias estadísticas frente al tratamiento fertilizado y sombra más fertilización, también se encontró diferencias para el tratamiento sombreado frente al sombra más fertilización, las diferencias están sujetas al número de estomas y número de células epidérmicas antes explicado.

En cuanto al pH en del suelo a los 80 y 120 DDAT se encontró diferencias estadísticas para los tratamientos, es así, que la fertilización produjo un efecto acidificante en el suelo, debido a que el nitrato de amonio tiene efecto acidificante. Al respecto, Perdomo *et al.*, (2020) reportaron que la absorción del nitrato (NH_4^+) produce un incremento de la absorción de aniones inorgánicos (H_2PO_4^- , SO_4^{2-} y Cl^-), y el pH de la rizósfera puede decrecer debido a la liberación de H^+ por parte de la raíz para mantener la neutralidad eléctrica. La relación nitrato/amonio se debe considerar porque según García & Navarro, (2013) cambia el pH cercano a las raíces.

También Ginés & Mariscal, (2002) manifestaron que la precipitación elevada contiene una pequeña cantidad de gas carbónico y es capaz de disolver la caliza en el suelo y el Ca es arrastrado a las capas más profundas en forma de bicarbonato de calcio, aumentando la presencia de H^+ . Otros fertilizantes utilizados como el fosfato diamónico (DAP) según Ginés & Mariscal, (2002) tiene un efecto residual ácido sobre los suelos. El cloruro de potasio (KCl) es considerado acidificante según Kant & Kafkafi, (2002) que manifiestan que el K^+ es absorbido por la planta con mayor intensidad que el Cl^- , este anión puede reaccionar con el Ca formando CaCl_2 muy soluble que es fuertemente lixiviado, el Ca desplazado es sustituido por otros cationes o bien por H^+ en cuyo caso, la descalcificación es preludio de la acidificación del suelo.

El alto contenido de materia orgánica en el suelo 7,7 % al tratarse de un rastrojo de bosque causa incrementos en el pH producto de la mineralización así reporta Quirós, (2005). El descenso en el pH durante la evaluación puede explicar las pocas diferencias estadísticas morfológicas y fisiológicas de las variables evaluadas, considerando que según Batista, (2009) el rango óptimo de pH para el cultivo de cacao está entre 5,5 a 6,5, también Sánchez *et al.*, (2017) menciona el pH optimo debe estar en un rango de 6,0 a 7,0, sin embargo, Dostert, *et al.*, (2011) mencionaron que el cacao es tolerante a un pH del suelo de 5,0 a 7,5, y que suelos ricos en nutrientes puede tolerar valores más bajos.

Es evidente que los cambios en el pH tienen efecto en la disponibilidad de nutrientes como lo reportan Baligar & Fageria, (2005), Van Vliet & Giller, (2017). También Rosas *et al.*, (2019) reportaron diferencias en la concentración de nutrientes en análisis bromatológicos por acción de la fertilidad y el pH en el suelo, en otro estudio Rosas *et al.*, (2021) encontraron diferencias en los contenidos nutricionales para distintos clones, bajo tratamientos de pH y fertilidad, en

hojas, frutos y semillas, lo que sugiere el efecto de las condiciones edafoclimáticas y la necesidad de evaluar los clones en cada zona de cultivo.

La CE en suelo presentó diferencias por efecto de la fertilización y su interacción, a los 60 DDAT se encuentra diferencias estadísticas, el tratamiento sombra más fertilización fue superior y diferente para los tratamientos control y sombreado. También a los 80 DDAT se encuentra diferencias estadísticas, el tratamiento fertilizado es estadísticamente igual al tratamiento sombra más fertilización, pero es diferente para los tratamientos sombreado y control. Los resultados indican que fertilización provocó un incremento en la CE sin que sobrepase 1 mS cm^{-1} siendo un indicador que según Castellanos, (2000) no se presenta problemas por sales para el cultivo de cacao. La leve reducción en todos los tratamientos suele ser producto del elevado contenido de MO, y las diferencias entre los tratamientos por efecto de la fertilización al aportar cationes de Ca^+ , K^+ , y otros presentes en el suelo, y por el incremento del pH, esto acrecienta la CE como afirma FitzPatrick, (1984). En el mismo contexto Fior *et al.*, (2020) encontraron que la conductividad eléctrica se incrementa en plantas fertilizadas en contraste con plantas no fertilizadas.

8. CONCLUSIONES

Durante los 140 días de evaluación, no se observa un efecto de la sombra, la fertilización ni de su interacción sobre la altura de la planta, diámetro de copa, ASTT y área foliar, lo cual indica el limitado tiempo para este tipo de estudios y también el escaso efecto sobre éstas variables.

La fertilización a pesar de tener un efecto acidificante e incrementar la CE en el suelo, influye positivamente en la fisiología del cultivo, reduciendo el número de estomas.

La combinación de fertilización y sombra, interactúan favorablemente sobre el largo de estomas, longitud de los brotes, la TCA y la TCR.

La sombra sola, provoca efectos independientes de la fertilización evidenciado en una disminución del número de células epidérmicas en las hojas.

El clon EETP-801 cultivado sin sombra, presenta gran sensibilidad a la luz, lo cual genera un menor desarrollo del cultivo, pero dicha limitante se mitiga, con la fertilización y/o sombra, durante el establecimiento e inicio de la producción del cultivo.

9. RECOMENDACIONES

Se recomienda la utilización de sombra y/o fertilización para el establecimiento e inicio de la producción del cacao EETP-801 en Zamora Chinchipe, porque produce significativamente brotes más grandes e incrementa la TCA y la TCR, además, incrementa sensiblemente la altura de la planta, el ASTT, IAF y el diámetro de copa.

Evaluar la producción inicial de las plantas expuestas a los tratamientos, acompañada de análisis bromatológicos en los frutos, y así, determinar el grado absorción de nutrientes y análisis de elementos pesados y tóxicos.

Realizar monitoreo constante de las condiciones fisicoquímicas del suelo, donde se está aplicando fertilización, evaluar posibles problemas de fitotoxicidad por elementos con mayor disponibilidad en pH bajos.

10. BIBLIOGRAFÍA

- AGROCALIDAD (Agencia de Regulación y Control Fitosanitario). (2018). MUESTREO PARA ANÁLISIS DE SUELOS . Obtenido de <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/agua8.pdf>
- Aguirre, S. C., Valdez, L. J., Ángeles, P. G., de los Santos, P. H., & Aguirre, S. A. (2011). Mapeo del índice de área foliar y cobertura arbórea mediante fotografía hemisférica y datos SPOT 5 HRG. *regresión y k-nn. Agrociencia*, *45(1)*, 105-119. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v45n1/v45n1a10.pdf>
- Almeida, A. A., & Valle, R. R. (2007). Ecophysiology of the Cacao Tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, *19(4)*, 426 - 448. Obtenido de <https://www.scielo.br/j/bjpp/a/CH3fMFFp6wY4mfZYFPmS7cj/?format=pdf&lang=en>
- Álvarez, B. I., & Reynaldo, E. I. (2015). Efecto del Pectimorf® en el índice estomático de plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos Tropicales*, *36(3)*, 82-87. Obtenido de https://jabega.uma.es/discovery/fulldisplay/cdi_gale_infotracademiconefile_A441489989/34CUBA_UMA:VU1
- Álvarez-Carrillo, F., Rojas-Molina, J., & Suárez-Salazar, J. C. (2015). Contribución de esquemas de fertilización orgánica y convencional al crecimiento y producción de *Theobroma cacao* L. bajo arreglo agroforestal en Rivera (Huila, Colombia). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, *16 (2)*, 307 - 3014. Obtenido de [10.21930/rcta.vol16_num2_art:375](https://doi.org/10.21930/rcta.vol16_num2_art:375)
- ANECACAO. (2020). Zonificación de ambientes cacaoteros en el Ecuador. *Revista Especializada en CACAO*, *16(2)*, 18 - 26. Obtenido de <http://anecacao.com/uploads/magazine/anecacao-junio-2018-sabor-arriba-16th.pdf>
- Azcón, B. J., & Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal (No. 581.1)*. Universidad de Barcelona. Obtenido de <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetal2008Azcon..pdf>

- Baligar, V., & Fageria, N. (2005). Aluminum influence on growth and uptake of micronutrients by cacao. *Food Agriculture and Environment*, 3(3-4), 173-177. Obtenido de <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=FI2016100068>
- Barriga, S., Mite, F., Espinosa, J., Cedeño, S., & Andino, J. (2010). Validación del Manejo de la Nutrición por Sitio Específico en una Plantación Tipo Empresarial de Cacao CCN-51 en la Zona de Puerto Inca, Cantón Naranjal, Provincia del Guayas-Ecuador. *Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/2.-Validacion-del-Manejo.pdf>
- Batista, L. (2009). El Cultivo de Cacao. *Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal, Inc.* Obtenido de El Cultivo de Cacao, Santo Domingo, República Dominicana: <https://repositorio.iica.int/bitstream/11324/6181/1/BVE17089191e.pdf>
- Bowers, J., Bailey, B., Hebbar, P., Sanogo, S., & Lumsden, R. (2001). El impacto de las enfermedades de las plantas en la producción mundial de chocolate. *Progr. De Sanidad Vegetal.*, 10. doi:10.1094 / PHP-2001-0709-01-RV
- Caldari, P. (2007). Manejo de la luz en invernaderos, los beneficios de luz de calidad en el cultivo de hortalizas. *I simposio internacional de invernaderos, CIBA, México*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/andres333/manejo-de-laluzeninvernaderos>
- Castellanos, J. Z. (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*. (Segunda edición ed.). México. Obtenido de https://www.academia.edu/10896916/Guia_de_interpretaco_in_de_analisis_de_suelos_y_aguas_Final
- CEPAL, Comisión Económica para América Latina y el Caribe . (2015). *Situación Actual del Agro Ecuatoriano con Enfoque de Cadena*. Obtenido de Diagnóstico de la Cadena Productiva del Cacao en el Ecuador: <https://www.vicepresidencia.gob.ec/wp-content/uploads/2015/07/Resumen-Cadena-de-Cacao-rev.pdf>
- Córdova, M. E. (2016). Influencia de la luz en algunas características fisiológicas del cafeto (*Coffea arabica* L. cv. Caturra) en condiciones de vivero. *Cultivos Tropicales*, 37(4), 89-97. doi:<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.10544.76801>

- Córdova, M. E. (2017). Efecto de la luz solar y tres fechas de siembra en el desarrollo de posturas de cafeto (*Coffea arábica* L. cv. Caturra) en la Zona Sur de Ecuador. Editorial Universitaria. Obtenido de <http://www.eduniv.cu/items/show/39214>
- Dostert, N., . Roque, J., . Cano, A., . La Torre, M. I., & . Weigend, M. (2011). *Factsheet: Datos botánicos de cacao*. Obtenido de http://repositorio.promperu.gob.pe/bitstream/handle/123456789/1051/Factsheet_datos_botanicos_cacao_2011_keyword_principal.pdf?sequence=1
- Enríquez, G. A. (1986). *Curso sobre el cultivo de cacao*. Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Obtenido de Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Curso sobre el cultivo de cacao: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/1058>
- Enríquez, G. A. (2006). *Universidad Técnica Estatal de Quevedo*. Obtenido de Fenología y fisiología del cultivo del cacao: <https://aprenderly.com/doc/3207554/fenolog%C3%ADa-y-fisiolog%C3%ADa-del-cultivo-del-cacao-gustavo-a.-e...>
- ESPAC - INEC. (2020). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua*. Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2019/Presentacion%20de%20los%20principales%20resultados%20ESPAC%202019.pdf
- Estrada, H. I., & Etchevers, B. J. (2017). Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *Agrociencia*, *51*(8), 813-831. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000800813
- Fior, C. S., Pinto Paim, L., Caumo, M., da Silva Alves, L., & Schwarz, S. F. (2020). Fertilization in *Butia odorata* seedlings formation. *Bosque*, *41*(3), 241-251. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002020000300241>

- FitzPatrick, E. A. (1984). Suelos: su formación, clasificación y distribución. (No. 968-26-0439-7. FT 02-C11.). México: Cecsa. Obtenido de <https://www.worldcat.org/title/suelos-su-formacion-clasificacion-y-distribucion/oclc/11109780>
- García, G. N., & Navarro García, S. (2013). *Química agrícola: química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas*. Mundi-Prensa Libros. Obtenido de <https://itscv.edu.ec/wp-content/uploads/2018/10/QUIMICA-AGRICOLA.pdf>
- Ginés, I., & Mariscal Sancho, I. D. (2002). Incidencia de los fertilizantes sobre el pH del suelo. Obtenido de <https://oa.upm.es/3176/>
- Gobbi, K. F., Garcia, R., Ventrella, M. C., Neto, A. F., & Rocha, G. C. (2011). Área foliar específica e anatomía foliar cuantitativa do capim-braquiária e do amendoim-forrageiro submetidos a sombreamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(7), 1436-1444. Obtenido de 10.1590/S1516-35982011000700006
- Gómez, A. (2002). Efecto de diferentes intensidades de luz sobre el intercambio gaseoso y desarrollo del cacao criollo guasare. *Trabajo de grado. Postgrado de Ecología Tropical, Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE), Universidad de Los Andes, Mérida Venezuela*, 113. Obtenido de http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/35418?show=full&locale-attribute=pt_BR
- González, S. C., Andrade, J. L., Orellana, R., Peña, R. L., & Reyes, G. C. (2013). Microambiente lumínico y morfología y fisiología foliar de *Bromelia karatas* (Bromeliaceae) en una selva baja caducifolia de Yucatán, México. *Botanical Sciences*, 91(1), 75-84. doi:<http://dx.doi.org/10.17129/botsci.403>
- Guarnaschelli, A. B., Mantese, A. I., & Battaglia, A. (2009). Cambios anatómicos y morfológicos en plántulas de *Eucalyptus sp* en respuesta a diferentes niveles de luz. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 44(3-4), 273-285. Obtenido de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-23722009000200005
- Hernández, M. S., Casas, A. E., Martínez, O., & Galvis, J. A. (1995). Análisis y estimación de parámetros e índices de crecimiento del árbol de maraco (*Theobroma bicolor* H. BK) a

- primera floración. *Agronomía Colombiana*, 12(2), 182-191. Obtenido de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v66n2/0034-7744-rbt-66-02-622.pdf>
- Hernández, N., & Soto, F. (2012). Influencia de tres fechas de siembra sobre el crecimiento y la relación fuente-demanda del cultivo del maíz (*Zea mays* L.). *Cultivos Tropicales*, 33(1), 28-34. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362012000100004
- INEN, (Servicio Ecuatoriano de Normalización). (2018). Granos de cacao. Requisitos. Norma Técnica Ecuatoriana 176. *Quinta Revisión. Servicio Ecuatoriano de Normalización. Quito, Ecuador.*, 6. Obtenido de https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_176-5.pdf
- Jaimez, R. E., Amores Puyutaxi, F., Vasco, A., Gastón LOOR, R., Tarqui, O., Quijano, G., & Tezara, W. (2018). Photosynthetic response to low and high light of cacao growing without shade in an area of low evaporative demand. *Acta biológica colombiana*, 23(1), 95-103. doi:<https://doi.org/10.15446/abc.v23n1.64962>
- Jaimez, R. E., Tezara, W., & Urich, I. C. (2008). Ecofisiología del cacao (*Theobroma cacao*): su manejo en el sistema agroforestal. *Revista Forestal Venezolana, Año XLII, Volumen 52(2)*, 2. Obtenido de <http://www.sidalc.net/repdoc/A7723e/A7723e.pdf>
- James, S. A., & Bell, D. T. (2000). Influence of light availability on leaf structure and growth of two *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* provenances. *Tree physiology*, 20(15), 1007-1018. doi:10.1093/treephys/20.15.1007.
- James, S. A., & Bell., D. T. (1995). Morphology and Anatomy of Leaves of *Eucalyptus camaldulensis* clones: variation between geographically separated locations. *Australian Journal of Botany*, 43(4), 415-533. doi:<https://doi.org/10.1071/BT9950415>
- Jerez, E., & Martín, R. (2014). Estimación de la superficie foliar en dos variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) por métodos no destructivos. *Cultivos Tropicales*, 35(1), 57-61. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193230069008>

- Jiménez, L. (2015). *Composición Florística, Estructura y Estado de Conservación del Bosque Siempre Verde Montano Bajo de la Cordillera del Condor –Kutuku, en la Microcuenca “El Padmi”, Zamora Chinchipe -Ecuador*. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/11093>
- Juan, M., Philippe, L., Jay, d. S., Mota, Rey, L., Kuhn, D., . . . Raymond, S. (2008). Diferenciación Poblacional Geográfica y Genética del Chocolate Amazonico (*Theobroma cacao* L). *PLoS ONE*, *10*(3). doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003311>
- Kant, S., & Kafkafi, U. (2002). Absorción de potasio por los cultivos en distintos estadios fisiológicos. *The Hebrew University of Jerusalem, Faculty of Agricultural, Food and Environmental Quality Sciences, Rehovot, Israel*. Obtenido de <https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/Sesion%20V.pdf>
- Loor, R., S, R. L., B, J. J., F, O. T., Z, G. R., M, T. C., & R., G. Q. (2018). *INIAP-EETP-800 e INIAP-EETP-801 Nuevos Clones de Cacao Fino y de Aroma con Alto Rendimiento*. Obtenido de Estación Experimental Tropical Pichilingue: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5240/1/INIAPBEETPP436.pdf>
- Loor, S. R., Amores, P. F., Vasco, M. S., Quiroz, V. J., Casanova, M. T., Garzón, C. A., & Zambrano, F. F. (2019). INIAP-EETP-800 ‘AROMA PICHILINGUE’, NUEVA VARIEDAD ECUATORIANA DE CACAO FINO DE ALTO RENDIMIENTO. *Revista fitotecnia mexicana*, *42* (2), 187 - 189. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802019000200187
- Mackinney, G. (1941). Absorption of light by chlorophyll solutions. *Journal of biological chemistry*, *140*(2), 315-322. doi:[https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)51320-X](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)51320-X)
- Montomayor, J., Lachenaud, P., da Silva E Mota, J., Loor, R., & Kuhn, D. B. (2008). Diferenciación poblacional geográfica y genética del árbol de chocolate amazónico (*Theobroma cacao* L). *PLoS ONE*, *3*. doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003311>

- Morales, D. (2006). Efecto de altas temperaturas en algunas variables del crecimiento y el intercambio gaseoso en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. CV. AMALIA). *Cultivos tropicales*, 27(1), 45-48. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193215885008.pdf>
- Niemenak, N., Cilas, C., Rohsius, C., & Bleiholder, H. (2010). Etapas Fenológicas de Crecimiento de Plantas de Cacao (*Theobroma sp.*): Codificación y Descripción Según la Escala BBCH. *Annals of Applied Biology*, 156(1), 13 - 24. doi:10.1111 / j.1744-7348.2009.00356.x
- Orozco, M., & Thienhaus, S. (1997). Efecto de la gallinaza en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en desarrollo. *Agronomía Mesoamericana*, 81-92. doi:10.15517/am.v8i1.24735
- Páramo, Y., Flores, J., & Hernández, A. (2014). Eficiencias en el Uso de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en Clones de Cacao (*Theobroma cacao* L.). *Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Bioagro*, 26(2), 6-9. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/857/85731100004.pdf>
- Paredes Andrade, N. (2009). Manual de cultivo de cacao para la Amazonía ecuatoriana. *INIAP, Estación Experimental Central de la Amazonía, Unidad de Recursos Fitogenéticos*. Obtenido de <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4786>
- Perdomo, C., Barbazán, M., & Durán, M. J. (2020). *intagri*. Obtenido de Formas Químicas de Absorción del Nitrógeno: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/formas-quimicas-de-absorcion-del-nitrogeno>
- Pin, G. S., Ardisana, E. F., Álava, J. Á., Fosado, O., Aguilar, R. L., & García, A. T. (2018). Contenido de clorofilas totales en doce clones de cacao (*Theobroma cacao* L.). *La Técnica: Revista de las Agrociencias*. doi:10.33936/la_tecnica.v0i20.1324
- Plaza, M. A., Rodríguez, J. A., & Quijano, J. (2016). *Estudios Industriales Orientación Estratégica para la Toma de Decisiones*. Obtenido de Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPAE: <https://www.espae.espol.edu.ec/wp-content/uploads/2016/12/industriacacao.pdf>

- Priego, A. F., Borys, M. W., Trejo, C., & López, L. L. (2003). Índice y densidad estomática foliar en plántulas de tres razas de aguacatero. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(4), 291-299. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/610/61026410.pdf>
- Quirós, R. (2005). *El efecto de la siembra directa sobre rastros en el contenido de nitrógeno disponible para el cultivo en un agroecosistema arrocerero inundado*. (U. d. Rica, Editor) doi:<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/856>
- Rodés, G. R. (2006). Manual de prácticas de fotosíntesis. *Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Facultad de Ciencias. México, DF, 8-10*. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=FanXSdIC-oIC>
- Rodríguez Larramendi, L. A., Guevara Hernández, F., Gómez Castro, H., Fonseca Flores, M., Gómez Castañeda, J. C., & Pinto Ruiz, 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*, 65(3), 248-254. doi:10.15446/acag.v65n3.46731
- Rodríguez, L. L., & Valdes, C. R. (2002). Efecto eco-fisiológico de diferentes niveles de irradiancia en la productividad biológica y agrícola del cafeto (*Coffea arabica* L.) en ecosistemas típicos de la Sierra Maestra. Obtenido de <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=CU2011400619>
- Rojas, E. I. (2012). *Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín*. Recuperado el 2021, de Aspectos para la nutrición del Cacao *Theobroma cacao* L.: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/55148>
- Romero, D. L., Parra Quezada, R. Á., Jacobo Cuellar, J. L., Ojeda Barrios, D. L., Guerreo Prieto, V. M., Ávila Quezada, G. D., & Ruiz Anchondo, T. D. (2017). Respuesta de portainjertos de manzano a vigor, eficiencia de producción y concentraciones foliar y en fruto de NPK. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(4), 849-861. doi:<https://doi.org/10.29312/remexca.v8i4.12>
- Rondón, J. B., & Cumana Campos, L. J. (2005). Revisión taxonómica del género *Theobroma* (Sterculiaceae) en Venezuela. *Acta Botánica Venezuelica*, 28 (1), 113 - 134. Obtenido

de http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0084-59062005000100007&script=sci_abstract

Rosas, P. G., Puentes, P. Y., & Menjivar, F. J. (2019). Efecto del encalado en el uso eficiente de macronutrientes para cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonia colombiana. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(1), 5-28. doi:10.21930/rcta.vol20_num1_art:1247

Rosas, P. G., Puentes, P. Y., & Menjivar, F. J. (2021). Efecto del pH sobre la concentración de nutrientes en cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonia Colombiana. *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica*, 24(1). doi:10.31910/rudca.v24.n1.2021.1643

Sánchez, M. Á., León, D. G., López, T. D., Arce, S. M., & Rodríguez, P. M. (2017). *ESTADO ACTUAL SOBRE LA PRODUCCIÓN, EL COMERCIO Y CULTIVO DEL CACAO EN AMÉRICA*. México: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Obtenido de <https://repositorio.iica.int/bitstream/11324/6422/1/BVE18019631e.pdf>

Sánchez, M., González, D. L., Arce, S., López, T., & Paola. (2017). *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)*. Recuperado el 16 de 02 de 2021, de Manual técnico del cultivo de cacao: prácticas latinoamericanas: <https://repositorio.iica.int/bitstream/11324/6422/1/BVE18019631e.pdf>

Sánchez, V. H., Zambrano, J. L., & Iglesias, C. (2019). La Cadena de Valor del Cacao en América Latina y el Caribe. *NIAP, Estación Experimental Santa Catalina*, 1-99. Obtenido de <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5382>

Santos, E., Scull, R., Manzano, P. I., Gutiérrez, Y., & Miranda, M. (2014). Estudio morfo-anatómico e identificación genética de *Vernonanthura patens* (Kunth) H. *Rob. Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*, 2(5), 119-128. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4960/496050270002.pdf>

Tezara, W., Almeida, J., Valencia, E. C., & Bolaños, M. (2015). Actividad fotoquímica de clones élites de cacao (*Theobroma Cacao* L.) ecuatoriano en el norte de la Provincia de Esmeraldas. *Revista Científica Interdisciplinaria Investigación y Saberes*, 4(3), 37-51. Obtenido de <http://utelvt.edu.ec/ojs/index.php/is/article/view/109>

- Tian, M., Yu, G., He, N., & 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.
- Van Vliet, J. A., & Giller, K. E. (2017). Mineral nutrition of cocoa. *Advances in agronomy*, 141, 185-270. doi:10.1016/bs.agron.2016.10.017
- Villar, P. 2. (2003). Importancia de la calidad de planta en los proyectos de revegetación, en: Rey-Benayas, J., Espigares, T. y Nicolau, J. Restauración de ecosistema mediterráneos. *Universidad de Alcalá y Asociación española de ecología terrestre. España, ISBN: 9788481387537.* Obtenido de <http://www3.uah.es/pedrovillar/PDF/Texto%20publicado.pdf>
- Zarrillo, S., Gaikwad, N., Lanaud, C., Powis, T., Viot, C., Lesur, I., . . . Yopez, A. (2018). El uso y domesticación de *Theobroma cacao* durante el Holoceno medio en el alto Amazonas. *Nature Ecology & Evolution volume*, 2, 1879–1888. Recuperado el 20 de 01 de 2021, de <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0697-x>

11. ANEXOS

11.1 Anexo 1. Evidencias fotográficas



Figura 20. Aplicación de sombra con malla sarán al 80 %.



Figura 21. Aplicación de la fertilización.



Figura 22. Etiquetado de plantas



Figura 23. Medición de altura de planta y diámetro de copa



Figura 24. Medicación de longitud de hoja



Figura 25. Toma de muestras de hojas para el análisis fisiológico.

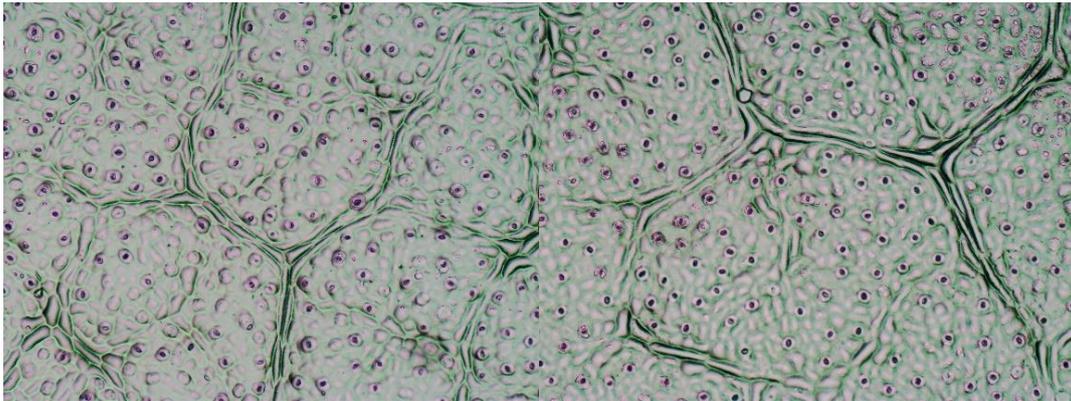


Figura 26. Estomas en hojas de caco clon EETP-801 observadas a 10X.

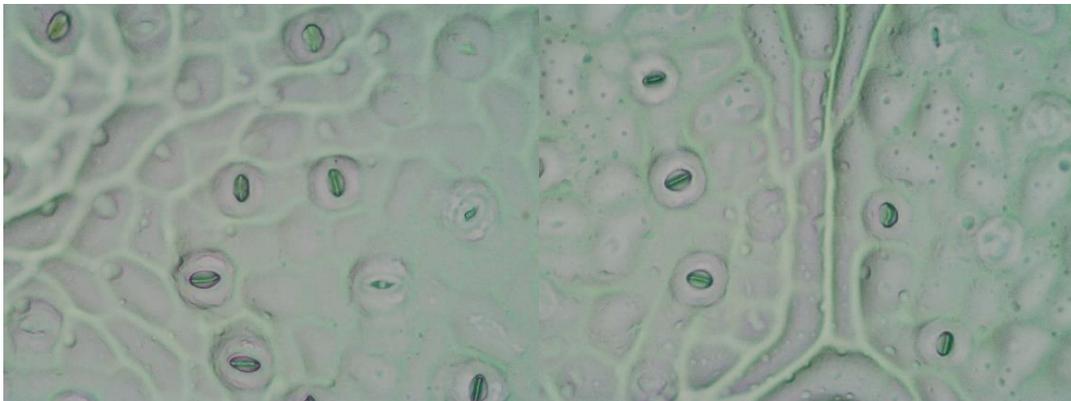


Figura 27. Estomas en hojas clon EETP-801 observadas a 40X.

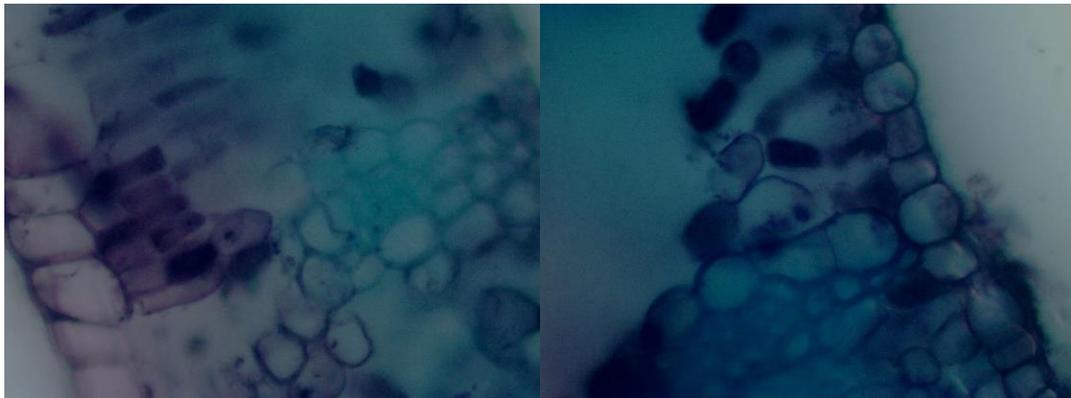


Figura 27. Cortes transversales observados al microscopio 40X

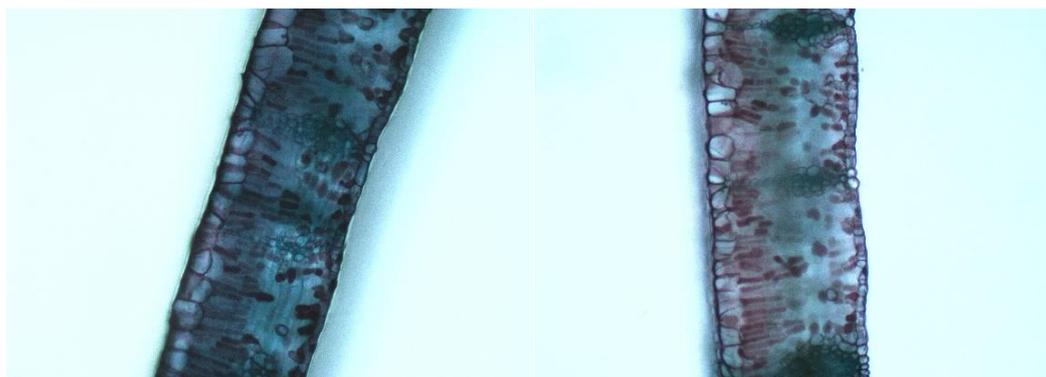


Figura 28. Cortes transversales observados en el microscopio a 10X.

11.2 Anexo 2. Análisis de variables

Tabla 17. Análisis de variables en cacao clon EETP-801

Variable	Definición	Unidad	Instrumento	Frecuencia	
Variables morfológicas	Altura de planta	Medida desde la superficie del suelo hasta el ápice	cm	Flexómetro	20 días
	ASTT	En base a la longitud de la circunferencia a 5 cm sobre y bajo el punto del injerto	cm ²	Cinta métrica	Inicio y final del ensayo
	Área Foliar	Estimación en base al largo de las hojas	m ²	Cinta métrica, fotografía y software Photoshop	Final del ensayo
	IAF	Cantidad de área foliar por unidad de área de superficie de tierra	m ² /m ²	Cinta métrica	Final del ensayo
	Diámetro de copa	Longitud en diámetro expandida por la planta	cm	Flexómetro	Final de ensayo
	Concentración de clorofila	Concentración de clorofila sobre una área de la hoja.	ml/g	Espectrometría	Final del ensayo
	Estructura anatómica de las hojas	Medición del grosor y estructuras de las hojas	µm	Microscopio y software Micro-Cam	Final del ensayo
Variables fisiológicas	Densidad estomática	Cantidad de estomas encontrados en una área determinada de la hoja	Nº estomas/mm ²	Microscopio y software Micro-Cam	Final del ensayo
	Índice estomático	Cociente entre la cantidad de estomas y el número de células epidérmicas	IE=Es/(Es+Ep) (100)	Microscopio y software Micro-Cam	Final del ensayo
	Determinación del pH	Grado de acidez o alcalinidad en el suelo	Escala entre 0 y 14	pHmetro	20 días
Determinación de la CE	Concentración de sales disueltas en el suelo	mS cm ⁻¹	Conductivímetro	20 días	

11.3 Anexo 3. Cálculo para la fertilización de base.

Para estimar la cantidad de fertilizantes se utilizó la Tabla 4, en inicio de producción del cacao, las plantas sembradas a 3,5 m x 4,0 m se tiene una densidad de 714 plantas/hectárea. De acuerdo al análisis de suelo debe corregir la deficiencia de boro.

Tabla 18. *Extracción de nutrientes del cultivo de cacao*

Estado del cultivo	Edad de la planta (meses)	Requerimientos Nutricional – Promedio 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 producción	39	212	23	321	140	71	7,1	0,9
Plena producción	50 - 87	438	48	633	373	129	6,1	1,5

Fuente: (Rojas, 2012)

11.3.1 Corrección del elemento déficit

Tabla 19. *Corrección del déficit de boro según el análisis de suelo*

Elemento	Dato del análisis del suelo(ppm)	Valor optimo (ppm)	Déficit (ppm)
Boro (B)	0,15	0,5	0,35

Dosis de corrección del Boro

Datos:

Cantidad del elemento disponible 0,15 ppm

Optimo: 0,5 ppm

Desarrollo:

$$DC = \frac{\text{déficit} * \text{densidad del suelo} * \text{profundidad} * 10}{\text{Coeficiente (0,26)}}$$

$$\text{Déficit} = 0,15 - 0,5$$

$$\text{Déficit} = 0,35$$

Dosis de corrección

$$DC = \frac{0,35 * 1,3 * 0,20 * 10}{0,26}$$

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

Dosis por planta

$$Dp = \frac{4 \text{ kg/ha}}{714 \text{ p/ha}} * 1000 \text{ g}$$

$$Dp = 4,9 \text{ g de B/p}$$

Dosis del fertilizante

- **Ácido bórico:** concentración 17,5 % de B

$$X = \frac{100 \text{ g } H_3BO_3}{?} X \frac{17,5 \text{ g B}}{4,9 \text{ g B}}$$

$$X = 28 \text{ g } H_3BO_3/2 \text{ Aplicaciones}$$

$$X = 14 \text{ g } H_3BO_3/\text{planta}$$

11.3.2 Cálculo de dosis de fertilización

Tabla 20. Dosis de fertilización para cacao clon EETP-801

Elemento	Requerimiento Kg/ha	Requerimiento gramos/planta	Gramos/aplicación
Nitrógeno	212	296,8	49,5
Fosforo	23	32,2	5,4
Potasio	321	449,4	74,9
Calcio	140	196	32,7
Magnesio	71	99,4	16,6

Cálculo de la cantidad de fertilizantes en gramos planta

- **Nitrato de calcio:** concentración 26 % Ca y 15 % N.

$$X = \frac{100 \text{ g } Ca(NO_3)_2}{?} x \frac{26 \text{ g Ca}}{196 \text{ g Ca}}$$

$$X = 753,8 \text{ g } Ca(NO_3)_2$$

Aporte de nitrógeno

$$X = \frac{100 \text{ g Ca(NO}_3)_2}{?} \times \frac{15 \text{ g N}}{753,8 \text{ g Ca(NO}_3)_2}$$

$$X = 113,1 \text{ g N de } 296,8 \text{ g requeridos}$$

$$N = 296 \text{ g requeridos} - 113,1 \text{ aportados por } 753,8 \text{ g Ca(NO}_3)_2$$

$$N = 183,9 \text{ g N faltante}$$

- **DAP:** (18 – 46 – 0) concentración 18 % N y 46 % fosforo

$$X = \frac{100 \text{ g DAP}}{?} \times \frac{46 \text{ g P}}{32,2 \text{ g P}}$$

$$X = 70 \text{ g DAP}$$

Aporte de nitrógeno

$$X = \frac{100 \text{ g DAP}}{?} \times \frac{18 \text{ g N}}{70 \text{ g DAP}}$$

$$X = 12,6 \text{ g N de } 296 \text{ g requeridos}$$

$$N = 183,7 \text{ g N faltante} - 12,6 \text{ g N aportados por } 70 \text{ g de DAP}$$

$$N = 171,1 \text{ g N faltante}$$

- **Nitrato de amonio:** concentración 33 % de N

$$X = \frac{100 \text{ g NH}_4\text{NH}_3}{?} \times \frac{26 \text{ g N}}{171,1 \text{ g N}}$$

$$X = 518,6 \text{ g NH}_4\text{NH}_3$$

- **Muriato de potasio:** Concentración 60 % de K

$$X = \frac{100 \text{ g KCl}}{?} \times \frac{60 \text{ g K}}{449,4 \text{ g KCl}}$$

$$X = 749 \text{ g KCl}$$

- **Sulfato de magnesio:** Concentración 16 % Mg

$$X = \frac{100 \text{ g MgSO}_4}{?} \times \frac{26 \text{ g Mg}}{99,4 \text{ g Mg}}$$

$$X = 621,3 \text{ g } MgSO_4$$

Aporte de azufre

$$X = \frac{100 \text{ g } MgSO_4}{?} \times \frac{13 \text{ g } S}{621,3 \text{ g } MgSO_4}$$

$$X = 80,8 \text{ g } S$$

Tabla 21. Cantidad de fertilizantes para aplicar en los tratamientos

Fertilizante	Gramos/planta	Gramos/aplicación
Nitrato de Ca	753,8	94
DAP (18-46-0)	70,0	9
KCl (muriato de K)	749,0	94
Nitrato de amonio	518,6	65
Sulfato de Mg	621,3	78

11.4 Anexo 4. Análisis de suelo

MC-LASPA-2201-01



INFORME DE ENSAYO No: 21-0234

NOMBRE DEL CLIENTE:	Jimenez Jimenez Elias Joel	FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:	31/03/2021
PETICIONARIO:	Jimenez Jimenez Elias Joel	HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:	12:45
EMPRESA/INSTITUCIÓN:	Jimenez Jimenez Elias Joel	FECHA DE ANÁLISIS:	05/04/2021
DIRECCIÓN:	Esteban Godoy Loja	FECHA DE EMISIÓN:	09/04/2021
		ANÁLISIS SOLICITADO:	CIC

N° muestra	K	Ca	Mg	Na	Suma de bases	Saturación de bases	CIC	Identificación de la muestra
	meq/100 g suelo	(%)	meq/100 g suelo					
21-0903	0,37	6,1	1,16	0,04	7,7	76,7	10,0	Elias Loja 1

RESPONSABLES DEL INFORME



Firmado electrónicamente por:
JOSE ALONSO
LUCERO
MALATAY

LABORATORISTA



Firmado electrónicamente por:
IVAN RODRIGO
SAMANIEGO
NAIGUA

RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo.

NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.

11.5 Anexo 5. Certificación de traducción del Abstract

Lic. Fredi Alex Bravo Encalada

Licenciada en Ciencias de la Educación, mención Idioma Inglés

Certifico:

Que he traducido minuciosamente el Resumen del Trabajo de Titulación titulado **“Influencia de dos niveles de sombra y fertilización sobre parámetros morfofisiológicos en plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP-801 en el sector “El Padmi”, provincia de Zamora Chinchipe”**, de autoría del estudiante **Elías Joel Jiménez Jiménez**, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, autorizando al interesado, hacer uso del presente en lo que estime conveniente.

Loja, 4 julio de 2022



Lic. Fredi Alex Bravo Encalada

LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN, MENCIÓN IDIOMA INGLÉS

C.L.: 1102903869

CEL.: 0981421727