



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA DE RECURSOS NATURALES

RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

“Evaluación de dos niveles de sombra y dos niveles de fertilización, sobre parámetros morfológicos y fisiológicos, en etapas tempranas del cacao (*Theobroma cacao* L.), clon EETP 800, en la provincia de Zamora Chinchipe”

TESIS DE GRADO PREVIA A
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO AGRÓNOMO

Autor: Kleber Antonio Montaña Tejedor

Director: Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD.

Loja – Ecuador

2021



CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Que luego de haber dirigido y revisado el trabajo de tesis titulado: **“Evaluación de dos niveles de sombra y dos niveles de fertilización, sobre parámetros morfológicos y fisiológicos, en etapas tempranas del cacao (*Theobroma cacao L.*), clon EETP 800, en la provincia de Zamora Chinchipe”**, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, del egresado: Kleber Antonio Montaña Tejedor, se autoriza su presentación debido a que el mismo se sujeta a las normas y reglamentos generales de graduación exigido por la Carrera de Ingeniería Agronómica.

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

Loja, 03 de febrero de 2021



Firmado electrónicamente por:
SANTIAGO
CRISTOBAL VASQUEZ
MATUTE

.....
Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD.
DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Una vez cumplida la reunión del tribunal de calificación del trabajo final de tesis titulado: **“EVALUACIÓN DE DOS NIVELES DE SOMBRA Y DOS NIVELES DE FERTILIZACIÓN, SOBRE PARÁMETROS MORFOLÓGICOS Y FISIOLÓGICOS, EN ETAPAS TEMPRANAS DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.), CLON EETP 800, EN LA PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE”** de autoría del Sr. Kleber Antonio Montaña Tejedor, egresado de la carrera de Ingeniería Agronómica.

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

Loja, 26 de abril del 2021



Firmado electrónicamente por:
**PAULINA VANESA
FERNANDEZ
GUARNIZO**

Mg. Sc. Paulina Vanesa Fernández Guarnizo
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

FRANCISCO
O JAVIER
GUAYLLAS
GUAYLLAS

Firmado digitalmente
porFRANCISCO JAVIER
GUAYLLAS GUAYLLAS
DNI: 09FRANCISCO JAVIER
GUAYLLAS GUAYLLAS c=EC
HQUITO o=BANCO CENTRAL
DEL ECUADOR ou=ENTIDAD
DE CERTIFICACION DE
INFORMACIONESICRICE
Motivo:Aprobado este
documento
Ubicación:
Fecha:2021-04-26 18:13:05:00

Mg. Sc. Francisco Javier Guayllas
VOCAL



Firmado electrónicamente por:
**EDMIGIO SOLIFS
VALDIVIESO
CARAGUAY**

Mg. Sc. Edmigio Solifs Valdivieso
VOCAL

AUTORÍA

Yo, Kleber Antonio Montaña Tejedor declaro ser el autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

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

Firma:  Firmado electrónicamente por:
KLEBER ANTONIO
MONTAÑO TEJEDOR

Autor: Kleber Antonio Montaña Tejedor

Cédula: 0706619046

Fecha: 27/04/2021

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, Kleber Antonio Montaña Tejedor, declaro ser el autor de la tesis titulada “Evaluación de dos niveles de sombra y dos niveles de fertilización, sobre parámetros morfológicos y fisiológicos, en etapas tempranas del cacao (*Theobroma cacao* L.), clon EETP 800, en la provincia de Zamora Chinchipe”, como requisito para optar al grado de Ingeniero Agrónomo, autorizo producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veinte y siete días del mes de abril del dos mil veinte y uno, firma el autor.

Firma:  Firmado electrónicamente por:
**KLEBER ANTONIO
MONTAÑO TEJEDOR**

Autor: Kleber Antonio Montaña Tejedor

Número de cédula: 070661904-6

Dirección: Av. Eugenio Espejo y Paraguay, Barrio Isidro Ayora, Cantón Loja – Loja.

Correo electrónico: klever.montao@hotmail.com

Teléfono: 3032112

Celular: 0980620621

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de tesis: Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute, PhD.

Tribunal de grado:

Ing. Paulina Vanesa Fernández Guarnizo Mg. Sc. **Presidente**

Ing. Francisco Javier Guayllas Guayllas Mg. Sc. **Vocal**

Ing. Edmigio Solifs Valdivieso Caraguay Mg. Sc. **Vocal**

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios por darme la vida, salud y sabiduría, permitiéndome cumplir con mis aspiraciones y metas propuestas.

Mi profundo agradecimiento a mis queridos padres Luis y Bertha, quienes con sacrificio y esfuerzo me brindaron su apoyo incondicional para seguir adelante y con ello lograr esta anhelada meta, gracias por sus sabios consejos y por ser el ejemplo de esfuerzo y valentía; a mis hermanos quienes han sido mi inspiración, motivación y ejemplo de lucha para seguir adelante hasta verme realizado como profesional.

Es propicia la oportunidad para expresar mis sentimientos de gratitud a la Universidad Nacional de Loja, y en especial a la Carrera de Ingeniería Agronómica por haberme abierto las puertas y formarme académica y profesionalmente; a los\las docentes por el apoyo brindado a lo largo de mi formación académica, por su tiempo, conocimientos y experiencias impartidas, durante toda mi vida universitaria.

De manera especial al Doctor Santiago Vásquez Matute, director de tesis quien con su capacidad, paciencia y conocimiento me supo guiar durante todo el desarrollo de la investigación.

Un especial agradecimiento al personal y directivos de la Estación Experimental “El Padmi”, por haberme brindado el espacio donde se desarrolló el ensayo de la investigación muy valioso para la ejecución y culminación de la presente Tesis.

DEDICATORIA

A Dios por darme lo más preciado que es la vida, por guiar cada uno de mis pasos que he forjado, para afrontar con gallardía los obstáculos que se presentaron a lo largo de este viaje.

A mis queridos padres Luis y Berta por brindarme su cariño y apoyo incondicional, por sus enseñanzas morales, éticas y humanísticas que guían mi diario vivir y que fortalecen mi espíritu triunfador para lograr mis propósitos.

Kleber.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS	II
CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	III
AUTORÍA.....	IV
CARTA DE AUTORIZACIÓN.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
DEDICATORIA	VII
TÍTULO.....	XI
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general	3
1.2 Objetivos específicos.....	3
2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Generalidades e importancia del cultivo de cacao.....	4
2.2 Origen	4
2.3 Taxonomía.....	4
2.4 Distribución y producción mundial del cacao	5
2.5 Cultivares de cacao.....	6
2.5.1 Forastero o amargo.....	6
2.5.2 Criollo o dulce.....	6
2.5.3 Trinitario	7
2.6 Clones ecuatorianos recientemente liberados.....	7
2.6.1 Clon Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP 800).....	7
2.7 Condiciones edafoclimáticas	8
2.7.1 Suelos.....	8
2.7.2 Clima.....	9
2.8 Fisiología del cacao	10
2.8.1 Radiación y sombra.....	10
2.9 Fenología vegetativa del cacao.....	11
2.10 Requerimientos nutricionales y fertilización en cacao	12

2.10.1	Requerimientos nutricionales.....	12
2.10.2	Nutrición y fertilización.....	13
2.10.3	Interacciones entre luz y nutrición en cacao	14
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1	Ubicación del área de estudio.....	15
3.2	Materiales, equipos e insumos.....	16
3.2.1	Materiales.....	16
3.2.2	Equipos	16
3.2.3	Insumos	16
3.3	Establecimiento y manejo del ensayo.....	16
3.4	Tratamientos, diseño experimental y análisis estadístico.....	16
3.5	Evaluación de variables morfológicas	19
3.5.1	Diámetro del portainjerto.....	19
3.5.2	Altura de la planta.....	19
3.5.3	Longitud de brote.....	19
3.5.4	Tasa de crecimiento absoluta (TCA).....	20
3.5.5	Tasa de crecimiento relativa (TCR).....	20
3.5.6	Área foliar del brote	20
3.5.7	Longitud y número de metámeros.....	20
3.5.8	Área de sección transversal del tronco (ASTT)	21
3.6	Metodología para el segundo objetivo.....	21
3.6.1	Concentración de clorofila	21
3.6.2	Índice de área foliar (IAF)	22
3.6.3	Densidad estomática	22
3.6.4	Determinación de pH y conductividad eléctrica (CE) del suelo	22
4.	RESULTADOS	23
4.1	Variables morfológicas.....	23
4.1.1	Diámetro del tronco	23
4.1.2	Área de la sección Trasversal del tronco (ASTT) y tasa de crecimiento absoluta.....	23
4.1.3	Incremento de la altura y tasa de crecimiento absoluta (TCA) de plantas	24
4.1.4	Longitud del brote y tasas de crecimiento, absoluta (TCA) y relativa (TCR)	26
4.1.5	Área foliar de brotes y área foliar de plantas	29
4.1.6	Longitud y número de metámeros.....	30
4.2	Variables fisiológicas	31

4.2.1	Contenido de clorofila.....	31
4.2.2	Densidad estomática	33
4.2.3	Análisis de pH y conductividad eléctrica del suelo.....	34
4.2.4	Correlaciones entre variables	36
5.	DISCUSIÓN.....	38
6.	CONCLUSIONES	46
7.	RECOMENDACIONES	47
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	48
9.	ANEXOS.....	56

“EVALUACIÓN DE DOS NIVELES DE SOMBRA Y DOS NIVELES DE FERTILIZACIÓN, SOBRE PARÁMETROS MORFOLÓGICOS Y FISIOLÓGICOS, EN ETAPAS TEMPRANAS DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.), CLON EETP 800, EN LA PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE”

RESUMEN

A nivel mundial existe una creciente demanda de cacao nacional fino de aroma, sin embargo, en Ecuador se registran bajos rendimientos, asociados principalmente al desconocimiento de las prácticas adecuadas de nutrición, y, por otro lado, no está claro la influencia de la sombra en el cultivo, y más aún en las condiciones de la Amazonía Ecuatoriana, donde la información es muy escasa. Por ello, se hace necesario investigar el efecto de la fertilización y la sombra en clon “EETP 800”, genotipo recientemente liberado que tendría excelentes atributos en su calidad industrial. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de dos niveles de sombreo y dos niveles de fertilización sobre variables morfológicas y fisiológicas en el clon “EETP 800” en etapa juvenil. El ensayo se llevó a cabo en la quinta experimental “El Padmi” (820 msnm), en Zamora Chinchipe, se estableció el cultivo a una distancia de 3,5 x 4,0 m, el ensayo inició cuando las plantas tenían medio año de edad. El diseño experimental fue completamente aleatorizado (DCA) con arreglo bifactorial. A nivel morfológico se evaluó cada 20 días la altura de planta, longitud de brotes, tasas de crecimiento absoluto (TCA), tasa de crecimiento relativo (TCR), área foliar y área de la sección transversal del tronco (ASTT), estas dos últimas evaluadas al final del ensayo al igual que las variables fisiológicas, entre ellas el contenido de clorofila A, B y clorofila total, densidad estomática e índice de área foliar (IAF), también se midió la fluctuación del pH y conductividad eléctrica (CE) en el suelo. Como resultados no hubo interacción entre el factor sombra y fertilización en las variables morfológicas, sin embargo el factor sombra influyó significativamente en área foliar del brote, las plantas sometidas a sombra de 80 % alcanzaron el mayor valor: 1144,30 cm² (P < 0,05), mientras que para la longitud, TCA y TCR de brotes, no se encontraron diferencias estadísticas (P > 0,05), aunque las plantas bajo sombra del 80 % alcanzaron los mayores valores 16,81 cm de longitud y TCA de 0,172 cm día⁻¹. El mayor contenido de clorofila A y densidad estomática se registró en plantas bajo sombra del 80 % con medias de 48,75 ml g⁻¹ y 706,61 estomas mm², no obstante, la clorofila B estuvo influenciada por la sombra y la fertilización (P < 0,05). El pH y la CE se vieron afectados por la aplicación de fertilizantes. Los resultados de este trabajo indican que la sombra puede favorecer el crecimiento en las plántulas de cacao en etapas de crecimiento temprano, sin embargo, es necesario continuar los estudios en etapas posteriores para evaluar el efecto sobre las variables asociadas al rendimiento del cacao.

Palabras clave: *Theobroma cacao* L., radiación incidente, nutrición, fisiología.

ABSTRACT

On a worldwide level, there is an increasing demand for fine national cacao's aroma, however, in Ecuador, low yields are registered; mainly associated with the lack of knowledge about proper nutrition practices. On the other hand, it is not clear about the influence of shading on cultivation and it increases in the Ecuadorian Amazon conditions, where information is very little. Therefore, it is necessary to investigate the effects of fertilization and shading in clone "EETP 800", which is a recently released genotype that would have excellent characteristics in its industrial quality. This work was aimed to evaluate the effect of two levels of shading and two levels of fertilization amongst morphological and physiological variables in the clone "EETP 800" on its young stage. The sampling was carried out at "El Padmi" experimental farm (820 msnm), in Zamora Chinchipe. the cultivation was established at a distance of 3.5 x 4.0 m, the test began when the plants were middle year old. The experimental design was completely randomized (DCA) with a bifactorial settlement. At the morphological level; the plant height, sprout length, absolute growing rates (AGR), relative growth rates (RGR), leaf area, and trunk cross-sectional area (TCA) were evaluated every 20 days. RGR and TCA were evaluated at the end of the sampling as well as the physiological variables, including the content of chlorophyll A, B and total chlorophyll, stomatal density, and leaf area index (LAI). PH fluctuation and electrical conductivity (EC) were also measured in soil. As results, there was no interaction between the shadowing factor and fertilization in the morphological variables. However, the shadowing factor significantly influenced the leaf area of the sprout, the plants exposed to 80 % shading, reached the highest value: 1144,30 cm² (P < 0, 05), while for the length, AGR and RGR of sprouts, no statistical differences were found (P > 0,05), although the plants under shading of 80 % reached the highest values in length with 16,81 cm and AGR of 0,172 cm day⁻¹. The highest content of A chlorophyll and stomatal density was registered in plants under 80 % of shading with measures of 48,75 ml g⁻¹ and 706,61 stomata mm², however, B chlorophyll was influenced by shading and fertilization (P <0,05). The pH and EC were affected by the application of fertilizers. The results of this research indicate that shading can help growth in cacao seedlings in early growing stages. However, it is necessary to continue studying in later stages to evaluate the effects on the variables associated with cacao's yield.

Keywords. *Theobroma cacao* L., incident radiation, nutrition, physiology.

1. INTRODUCCIÓN

La producción actual a nivel mundial de cacao es de 5 252 377 toneladas con rendimientos promedio de 470 kg ha⁻¹, donde África es el principal productor de cacao y aporta con el 67,1 % de la producción mundial, mientras tanto América contribuye con un 17,0 % de la producción mundial (FAOSTAT, 2020).

El cultivo de cacao en Ecuador rodea las 573 833 ha, con una producción promedio baja de 468,54 kg ha⁻¹ (ESPAC, 2018), pese a esto, nuestro País está entre los siete principales países productores de cacao (Sánchez-Mora *et al.*, 2014; Quintana y Aguilar, 2018), por tanto es un rubro de gran importancia que genera significativas fuentes de ingresos económicos y brinda trabajo a miles de personas (Intriago *et al.*, 2018), además, contribuye con el 5 % de la población económicamente activa nacional (PEA) y el 15 % del PEA rural, constituyéndose en base fundamental de la economía familiar del sector costero y la Amazonía ecuatoriana (ANECACAO, 2019a).

La producción de cacao en Ecuador está localizada en las provincias del litoral (Los Ríos, Guayas, Manabí, Esmeraldas y El Oro), en las estribaciones de la Cordillera Occidental de Los Andes y en las provincias del nororiente (Sucumbíos, Orellana y Napo); por otra parte, la zona sur oriental, en particular la provincia de Zamora Chinchipe, progresivamente está ingresando en el mapa de las provincias productoras de cacao (Intriago *et al.*, 2018). Las mayores áreas de siembra están lideradas por dos clones de cacao: el CCN51 y el cacao “Nacional” (ANECACAO, 2019b).

Ecuador, por sus condiciones geográficas y su riqueza en recursos genéticos, es productor de cacao, en este sentido nuevos clones han sido liberados, como el “EETP 800” (Estación Experimental Tropical Pichilingue) (FAO, 2016), el cual posee un perfil sensorial que lo ubica dentro de los llamados cacaos finos de aroma (Loor-Solórzano *et al.*, 2019). Sin embargo, no se conoce el comportamiento agronómico de este genotipo en la zona amazónica del sur de Ecuador, resaltando la importancia de evaluar su respuesta a este ambiente.

A nivel local el Gobierno Provincial de Zamora Chinchipe viene impulsando proyectos de reactivación de cacao nacional fino de aroma (GADPZCH, 2019), además mediante la empresa pública agropecuaria Agropzachin brinda capacitación a los productores para contrarrestar plagas y enfermedades, producir abonos orgánicos en sus fincas, construir viveros y otras labores (El telégrafo, 2018).

El bajo rendimiento a nivel nacional es un problema evidente y de gran magnitud. Entre otros factores que limitan la producción está el deficiente manejo del cultivo debido al desconocimiento de criterios técnicos para la aplicación y dosificación de fertilizantes y el escaso conocimiento del efecto que causaría el uso de la sombra sobre el crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad de los frutos, siendo este último una de las interrogantes más frecuentes. En este aspecto un estudio realizado por Vanhove *et al.* (2016) encontró incrementos de la fertilidad del suelo en cultivos degradados al usar sombra con sistemas agroforestales, mientras en otros casos se mencionan incrementos en la productividad en cultivos a pleno sol (Snoeck *et al.*, 2016; Asare *et al.*, 2017; Abdulai *et al.*, 2018). Tales contradicciones surgen debido a que las investigaciones se han llevado a cabo en áreas restringidas de determinados entornos y regiones, por tanto, las conclusiones extraídas de estos estudios pueden ser válidas solo para las circunstancias en las que se han llevado a cabo dichos estudios (van Vliet y Giller, 2017).

Por otra parte, la interacción sombra-nutrición es muy poco estudiada, aunque, se dice que, bajo sombra, el rendimiento del cacao responde menos a los fertilizantes, pero la disminución del rendimiento también es menos severa (van Vliet *et al.*, 2015), aunque sí se han realizado estudios, pero en condiciones distintas de suelo, clima y latitudes y en genotipos distintos. En este sentido, se informa que los nutrientes en el suelo son importantes para que exista una alta producción en cacao, sin embargo, es evidente la influencia del genotipo en el límite máximo de absorción de nutrientes, sugiriendo la necesidad de determinar el uso eficiente de nutrientes para cada clon en interacción con la zona específica de cultivo (Cuenca-Cuenca *et al.*, 2019). Así mismo, Arvelo *et al.* (2017b) mencionan que existe una relación significativa entre los efectos de la luz y el grado de nutrición del cacao, denominada relación fertilización-sombra, siendo un factor decisivo para obtener buena productividad por unidad de superficie.

Es también posible que, en ciertas zonas del sur del Ecuador, por sus características meteorológicas, las condiciones de radiación sean apropiadas, y no sea necesario usar sombra, pero no existen estudios que indiquen cuánta radiación fotosintéticamente activa está presente en estas localidades productoras; sin estos conocimientos es complicado hacer recomendaciones de manejo. Hasta el momento, la gran mayoría de estudios abordan la sombra a través de sistemas agroforestales, lo cual ha mostrado resultados poco claros debido a la interacción de distintos

factores, como el tipo de sistema agroforestal, la edad de las plantas, el tipo de suelo, entre otros factores, lo que dificulta la comprensión del efecto de la sombra (van Vliet y Guiller, 2015).

El presente estudio busca generar información acerca de la influencia de la sombra y la fertilización sobre el desarrollo del cacao en etapas tempranas, lo que podría ayudar a mejorar los conocimientos sobre estos factores para un potencial uso agronómico, enfocado a incrementar la productividad de este cultivo. Todo ello tendrá un impacto social y económico positivo en los productores de cacao de Zamora Chinchipe y zonas con condiciones edafoclimáticas similares.

1.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de dos niveles de sombreado y dos niveles de fertilización sobre variables morfológicas y fisiológicas en el cultivo de cacao en etapa juvenil, clon EETP 800 en la estación experimental El Padmi de la Universidad Nacional de Loja.

1.2 Objetivos específicos

Determinar la influencia de dos niveles de sombra y dos niveles de fertilización, sobre variables morfológicas, en etapas tempranas del cultivo de cacao.

Evaluar el comportamiento fisiológico, en respuesta a dos niveles de sombra y fertilización.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Generalidades e importancia del cultivo de cacao

El cacao (*Theobroma cacao* L) es una especie del género *Theobroma* de la familia Malvaceae, la cual cuenta con más de 22 especies. Se trata de un cultivo tropical, que está extendido en África, Asia, Oceanía y América, en plantaciones destinadas a producir sus almendras, que son utilizadas para la producción de chocolates y grasas por industrias alimentarias o cosmetológicas (Arvelo *et al.*, 2017b). Hoy en día existe una gran demanda de cacao a nivel mundial (Estrada *et al.*, 2011).

2.2 Origen

El cacao tuvo su origen en América, pero aún no se ha podido identificar con precisión el lugar exacto, hasta el día de hoy sigue siendo un tema de discusión (Estrada *et al.*, 2011). Aunque algunos autores como Batista (2009) indican que: el cultivo del cacao se inició en México y América Central, muy probable su origen sea en la cuenca alta del río Amazonas que comprende países como Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Brasil, en estas regiones es donde se presenta la mayor diversidad de la especie.

2.3 Taxonomía

Arvelo *et al.* (2017b) detalla la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliópsida

Orden: Malvales

Familia: Malvaceae

Género: *Theobroma*.

Nombre científico: *Theobroma cacao* L.

2.4 Distribución y producción mundial del cacao

El cacao está distribuido en casi todo el mundo, en regiones cálidas y húmedas en más de 50 países ubicados en cuatro continentes: África, América, Asia y Oceanía; 23 de ellos son países de América en los cuales se produce cacao a nivel comercial, siendo este un cultivo de gran importancia económica, social, ambiental y cultural para los territorios en donde se produce (Arvelo *et al.*, 2017a). La producción mundial de cacao supera los 4 000 000 de toneladas de grano seco, cinco países (Costa de Marfil, Ghana, Indonesia, Nigeria y Camerún) concentran el 84 % de la producción mundial. El continente africano es responsable del 73 % de la producción; los países de América contribuyen con el 17 % de producción mundial; Asia y Oceanía aportan el 10 % de la producción (Arvelo *et al.*, 2017a). En América del Sur, Brasil es el país que lidera en producción, mientras que Ecuador solo aporta el 4 % del total de la producción mundial (FAOSTAT, 2020), colocándose entre los siete principales productores a nivel mundial (Figura 1). Por tanto, África Occidental, Asia Sudoriental, América del Sur y América Central son los principales centros de cultivo teniendo una elevada tasa de crecimiento con un aumento significativo en la producción en los últimos años (FAOSTAT, 2020).



Figura 1. Principales países productores de cacao (Arvelo *et al.*, 2017a).

2.5 Cultivares de cacao

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

También existen otras especies del género *Theobroma* con utilidad en aspectos alimentarios, medicinales y cosméticos, como el *Theobroma grandiflorum*, de nombre común copoazú o cacao blanco, o el *Theobroma bicolor*, denominado mocambo, entre otros (Arvelo *et al.*, 2017b).

2.5.1 Forastero o amargo

Los cacaos “forasteros” dominan la producción y el comercio mundial de granos, son originarios de la cuenca amazónica y son producidos en los cuatro continentes cacaoteros: África, Asia, América y Oceanía. Se caracterizan por tener frutos generalmente ovalados y cortos, con colores que varían entre el verde y amarillo al madurar, son de superficie lisa, con corteza gruesa y lignificada en su interior. Tienen granos pequeños y aplanados, colores que van desde púrpura oscuro e intenso hasta el violeta pálido, dependiendo del contenido de sus taninos. Sobre este tipo de cacao descansa la gran biodiversidad de la especie con base en la población silvestre; sin embargo, se ha determinado que la base genética de la población cultivada es reducida, pues depende en alto porcentaje del sub-tipo forastero amelonado (Arvelo *et al.*, 2017b).

2.5.2 Criollo o dulce

Los cacaos “criollos” tienen su origen en el norte de Sudamérica y Centro América. Se caracterizan por poseer un sabor suave y aromático, se encuentran principalmente en Venezuela, América Central, Papua Nueva Guinea, Las Antillas del Caribe, Sri Lanka, Timor Oriental y Java. Debido a su alta susceptibilidad a enfermedades y su baja productividad se ha ido reduciendo como cultivo y en el mercado. Se caracterizan por poseer frutos alargados de punta pronunciada, doblada y aguda. La superficie de estos frutos es generalmente rugosa, delgada, de color verde con manchas en forma de salpicaduras que van desde los colores rojo a púrpura oscura. Los frutos están marcados por unos 10 surcos muy profundos; sus granos son grandes, gruesos, casi redondos, de cotiledones blancos o poco pigmentados, con bajo contenido de taninos, ricos en aromas y sabores. De estos cacaos se obtiene chocolate de gran calidad (Johnson *et al.*, 2008).

2.5.3 Trinitario

Los “trinitarios” son generados por la hibridación de criollos x forasteros. Son muy heterogéneos genéticamente y morfológicamente; aunque no es posible delimitarlos a través de características externas comunes, las plantas son robustas con frutos verdes o pigmentados y con semillas que van del violeta oscuro al rosa pálido. Su origen se establece en Trinidad y Tobago y se presume que la hibridación fue el resultado de un proceso de cruzamiento espontáneo y natural, aunque de origen antrópico. Hoy su cultivo está ampliamente extendido en América y en algunos países de África (Trinidad y Tobago, Venezuela, Ecuador, México, Centro América, Camerún, Samoa, Sri Lanka, Java y Papúa Nueva Guinea) y representa alrededor del 15 % de la producción mundial. Sus granos bien procesados junto a los provenientes de cacaos criollos son reconocidos en el mercado por su calidad (Arvelo *et al.*, 2017b).

2.6 Clones ecuatorianos recientemente liberados

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

2.6.1 Clon Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP 800)

El clon de cacao EETP 800 (Estación Experimental Tropical Pichilingue) fue desarrollado por el INIAP de Quevedo en Ecuador, como resultado de un cruce (CCN 51 × EET 233), fue liberada el 27 de octubre del año 2016, cuya demanda es principalmente para la elaboración de chocolate a nivel nacional e internacional, adaptado a las zonas agroecológicas del Ecuador y posee un rendimiento de más de 2 toneladas ha⁻¹ (FAO, 2016).

El clon EETP 800 dispone de un perfil sensorial que lo ubica dentro de los llamados cacaos finos de aroma. La expresión del aroma y sabor característico depende también del tipo de tratamiento post cosecha que se les otorgue y a las instalaciones con las que se cuente para este fin (Loor-Solórzano *et al.*, 2019).

Hasta la fecha existen pocos estudios en cuanto a adaptación, nutrición y manejos en mencionado genotipo, sin embargo, pruebas experimentales realizadas por el INIAP en diferentes zonas productoras de cacao demostraron que el clon EETP 800 presenta un alto grado de adaptación en la parte media y alta de la cuenca del río Babahoyo, noroccidente de Pichincha y norte de Guayas, hasta una altura máxima de 600 msnm, zonas donde el potencial genético del mencionado clon expresa su mejor comportamiento comercial (INIAP, 2018).

Las principales características de este clon son: crecimiento semi-erecto, floración en el primer y tercer trimestre del año, mazorca inmadura color verde y amarilla en su madurez fisiológica, autocompatible, producción precoz (14 meses), índice de mazorca de 18, promedio de 46 semillas por mazorca e índice de semilla de 1,40. El rendimiento promedio acumulado del año 2011 (36 meses después de la siembra) fue de 2,73 kg de cacao seco por planta.(INIAP, 2018).

2.7 Condiciones edafoclimáticas

El cacao debe ser cultivado en zonas con condiciones de suelo y ambiente que le permitan prosperar y desarrollar todo su potencial productivo, es decir en áreas con climas cálidos y húmedos (Arvelo *et al.*, 2017b).

2.7.1 Suelos

El árbol del cacao se adapta perfectamente a diferentes tipos de suelo. Un suelo se considera adecuado para el cultivo cuando tiene una buena capacidad de retención de humedad, buena aireación, buen drenaje, con una capa radical de 1 m de profundidad en donde las raíces se puedan desarrollar con toda normalidad, y un pH entre 5,5 y 6,5 (Johnson *et al.*, 2008; Batista, 2009).

Para lograr una alta productividad, el cacao requiere un suelo abundante en nutrientes. En muchas regiones productoras de cacao, el contenido de nutrientes del suelo sin la aplicación de fertilizantes es pobre, especialmente si el suelo ha estado bajo cultivo durante mucho tiempo (van Vliet y Giller, 2017).

El pH tiene influencia en la disponibilidad y absorción de nutrientes, puesto que muchos nutrientes se vuelven menos disponibles con acidez creciente mientras que otros se vuelven más disponibles, lo que puede conducir a toxicidad de estos nutrientes. El rango óptimo de pH para el cultivo de cacao es de 6,0 a 7,5 (Wood, 1985). Sin embargo, el cacao es muy sensible a la acidez, un problema

asociado con la acidez del suelo es la toxicidad del aluminio (Al), que es un factor limitante en la producción de plantas en suelos ácidos. El cacao es un cultivo sensible al aluminio, lo que se conoce como “complejo de acidez del suelo” es el impacto combinado de deficiencias de calcio y magnesio, debido a la excesiva fijación de hierro y Al. Estos efectos combinados pueden provocar un retraso en el crecimiento del cacao (van Vliet y Giller, 2017).

La conductividad eléctrica (CE), mide la concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo, pues a mayor CE, mayor es la concentración de sales, en un suelo conviene que la CE sea baja (Bárbaro *et al.*, 2005). Castellanos (2000) menciona que los suelos con CE menores a 1 dS m^{-1} son suelos libres de sales y por tanto no existe restricción para ningún cultivo. El cultivo de cacao es sensible a la presencia de sales en el suelo (van Vliet y Giller, 2017).

Si la finca está ubicada en área de montaña es importante que la pendiente no sea mayor de 15 %, ya que pendientes superiores favorecen la erosión del suelo y dificultan la realización de las diferentes labores, lo cual resulta en mayores costos de operación. Es importante también tener en cuenta la intensidad de los vientos que puede aumentar con la altura y la inclinación del terreno y, por consiguiente, provocar daños mecánicos y fisiológicos en las hojas, los frutos, y la arquitectura general de las plantas (Batista, 2009).

Arvelo *et al.* (2017b) menciona algunas características deseables en los suelos para siembra de cacao: presencia de hojarasca en la capa superficial, espesor de la capa de humus y el resto del horizonte en más de 10 cm, espesor y porosidad de la capa inferior mayor a 90 cm, presencia microbiana benéfica, pendientes bajas y buen drenaje.

2.7.2 Clima

La temperatura, la precipitación y la humedad relativa son factores climáticos de mayor consideración, en tal sentido, la temperatura promedio anual fluctúa entre 24,5 y 25,6 °C, la lluvia promedio anual de 1 200 mm bien distribuida, y la humedad relativa de aproximadamente 80 %, representan condiciones esenciales para el éxito del cultivo (Batista, 2009). Temperaturas muy altas pueden ser inadecuadas para cultivar cacao al aumentar el potencial de evapotranspiración (ETP) afectando la disponibilidad de agua (van Vliet *et al.*, 2015). Por otra parte, Wood (1985) indica que las precipitaciones anuales superiores a 2 500 mm aumentan la incidencia de enfermedades fúngicas como vaina negra y muerte regresiva de la vena vascular. La alta

precipitación también conduce a una fuerte lixiviación, dando origen a suelos más pobres, aunque en algunos casos en los suelos aluviales la fertilidad puede reponerse mediante inundaciones.

2.8 Fisiología del cacao

La fisiología es un tema amplio en el cual se habla de los procesos que se producen en la planta como: fotosíntesis, ciclo y translocación de nutrientes, o efecto de la radiación en las plantas. El cacao exhibe una alta variabilidad genética en rasgos morfológicos y fisiológicos (De Almeida y Valle, 2007).

2.8.1 Radiación y sombra

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

Así mismo Gomez *et al.* (2014) menciona que para el cacao fino de aroma la luminosidad es variable dependiendo del ciclo productivo en el que se encuentre, siendo del 40 al 50 % para el cultivo en crecimiento (menor de 4 años) y del 60 al 75 % para plantación en producción (mayor de 4 años).

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

El cacao es una especie tolerante a la sombra, con tasas fotosintéticas netas que saturan a bajas densidades de flujo fotónico (Jaimez et al., 2018). Las plantas jóvenes de cacao muestran tasas crecientes de fotosíntesis neta a medida que la PAR aumenta a valores en el rango de cerca de 400 a 750 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (De Almeida y Valle, 2008), se ha indicado que valores mayores de PAR causarían fotoinhibición en la planta de, sin embargo, recientes estudios en variedades ecuatorianas de cacao clonal y CCN 51 a alta luminosidad han mostrado incrementos de hasta el 35 % en la tasa fotosintética neta a 1 000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, y al existir mayor fotosíntesis existirá por consiguiente un crecimiento más rápido y una mayor producción de fotoasimilados. Dicha respuesta de fotosíntesis a estas condiciones de luz alta no se ha reportado previamente en cacao (Salazar *et al.*, 2018). No se sabe qué grado de sombra y de qué árboles es óptimo en diferentes climas, por lo que es necesario realizar más estudios que intenten explicar dicho fenómeno (van Vliet y Giller, 2017).

En Ecuador, Jaimez *et al.* (2018) realizó un estudio en cacao “Nacional” cultivado sin sombra en las condiciones climáticas de la costa ecuatoriana, en el cual se demuestran valores de conductancia estomática y tasa de asimilación elevados, lo cual indica un sistema fotosintético eficiente observado en los cultivares de cacao ecuatoriano. Estos resultados, además, sugieren que, en las condiciones climáticas de la costa ecuatoriana, caracterizada por una baja demanda de evaporación, se puede cultivar este tipo de cacao sin necesidad de sombra, esto posiblemente porque la mayor parte del año hay alta densidad de nubes.

2.9 Fenología vegetativa del cacao

Según Niemenak *et al.* (2009) las etapas fenológicas y claves de identificación de escala BBCH extendidas de la planta de cacao en etapa vegetativa se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Etapas de crecimiento vegetativo del cacao (Niemenak *et al.*, 2009).

Estado	Descripción
00	Semillas frescas / esquejes ortotrópicos con cuatro o cinco hojas medio recortadas
01	Imbibición de semillas / esquejes plantados en medios de enraizamiento; sin callos visibles
02	Protuberancia de la radícula a través de la capa de la semilla / la formación del callo comienza en los esquejes ortotrópicos; la raíz del golpecito (emergencia)
03	Hipocótilo visible; alargamiento de la radícula / iniciación del crecimiento horizontal de las raíces primarias
05	Primeras raíces laterales visibles / orientación vertical del crecimiento de la raíz primaria

07	El hipocótilo forma un gancho; el cotiledón emerge del suelo / brotes terminales o laterales de los cortes ortotrópicos se rompen
09	Elongación del hipocótilo completada; los cotiledones están en posición vertical pero aún desplegados / crecimiento de la terminal o los brotes laterales en un brote principal vertical
10	Cotiledón completamente desplegado. Las estípulas que rodean el brote terminal en el brote principal o las ramas en abanico se separan y el brote se hincha
11	Hoja desplegándose en la primera descarga. Las hojas son de color verde pálido o rojo
12	La hoja se despliega en la segunda descarga. Las hojas son de color verde pálido a rojo
19	Nueve o más rubores completamente maduros
20	El brote alcanza su madurez fisiológica y el crecimiento de su meristemo apical se detiene
21	El primer chupón aparece bajo la primera horqueta con un 10 % de crecimiento
22	Formación de la segunda horqueta y posteriormente del segundo chupón. El segundo chupón aparece bajo la primera horqueta con un 10 % de crecimiento

2.10 Requerimientos nutricionales y fertilización en cacao

Para comprender los requerimientos de nutrientes del cacao, es importante considerar el ciclo de nutrientes. Existe una gran variabilidad entre los diferentes sistemas de producción de cacao con respecto al ciclo de nutrientes y el equilibrio de nutrientes (van Vliet y Giller, 2017).

2.10.1 Requerimientos nutricionales

Los nutrientes minerales participan en el metabolismo vegetal cumpliendo funciones específicas y esenciales como constituyentes de estructuras orgánicas, activadores de reacciones enzimáticas, portadores de carga y osmoreguladores (van Vliet *et al.*, 2015)

En Malasia se llevó a cabo un estudio para estimar la exigencia nutritiva de toda la planta en las diferentes etapas de desarrollo; los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2. Las cifras dan cuenta de la intensa demanda nutritiva del cultivo para sostener una alta productividad.

Tabla 2. Extracción nutricional del cultivo de cacao desde el estado de plántula hasta la producción; tomado de Leiva (2013).

Estado del cultivo	Edad de la planta (meses)	Requerimientos Nutricionales- 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	39	212	92	321	140	71	7,1	0,9

producción								
Plena producción	50-87	438	48	633	373	129	6,1	1,5

2.10.2 Nutrición y fertilización

Dado que el contenido de nutrientes en el suelo de muchas regiones cacaoteras es deficiente, una forma de aumentar los rendimientos es abordar las necesidades nutricionales del cacao a través de los fertilizantes. Sin embargo, la respuesta de los árboles de cacao a los fertilizantes seguirá siendo limitada a menos que el cultivo esté bien gestionado y en buenas condiciones sanitarias (van Vliet *et al.*, 2015). Es recomendable que se realice la fertilización de los cacaotales de acuerdo al análisis de suelos efectuados en las fincas y con ello establecer un plan de nutrición adecuado. La clase y cantidad de fertilizante a usarse en el cacaotal dependerá del tipo de suelo, de la cantidad de sombra y de la intensidad de las precipitaciones (Arvelo *et al.*, 2017b).

En general, existen carencias de conocimientos para la elaboración de recomendaciones (sobre fertilizantes); hasta la fecha, los conocimientos necesarios para llegar a recomendaciones adecuadas en diferentes condiciones son limitados. Se han identificado tres temas principales en los que se carece de conocimientos: fisiología del árbol del cacao, prácticas de manejo y la absorción y el uso de nutrientes y sus interacciones (van Vliet y Giller, 2017).

Furcal (2017) menciona que, en una tonelada de semillas secas de cacao, incluyendo la cáscara del fruto, se extraen entre 33,45 y 37,80 kg de nitrógeno (N), entre 40,35 y 50,64 kg de potasio (K), y de fósforo (P) en un rango de 7,33 a 8,37 kg; en cuanto al orden de extracción de los nutrientes fue: K>N>P>Mg>Ca>Mn>Fe>Zn>B=Cu; por lo tanto sin la aplicación de fertilizantes, se eliminan del sistema más nutrientes de los que se importan, aunque el cacao establecido a partir de la selva virgen en suelos fértiles puede no requerir fertilizantes durante muchos años, pero con el tiempo, la producción de cacao, especialmente sin fertilizantes, agotará los nutrientes del suelo.

Un estudio realizados por Cuenca-Cuenca *et al.* (2019) menciona que existe una influencia fuerte del genotipo, en relación a la aplicación de fertilizantes bajo las condiciones edáficas y climáticas, por lo tanto, se sugiere determinar el uso eficiente de nutrientes para cada clon en interacción con la zona específica de cultivo con el fin de obtener mejores ingresos y evitar la contaminación ambiental y los desperdicios económicos. Por otra parte Puentes-Páramo *et al.* (2014), sugieren

que el cultivo de cacao tiene un potencial de extracción de nutrientes que se traduce en buenos rendimientos, pero cuando se sobrepasa ese límite se provocaría un desbalance nutricional.

2.10.3 Interacciones entre luz y nutrición en cacao

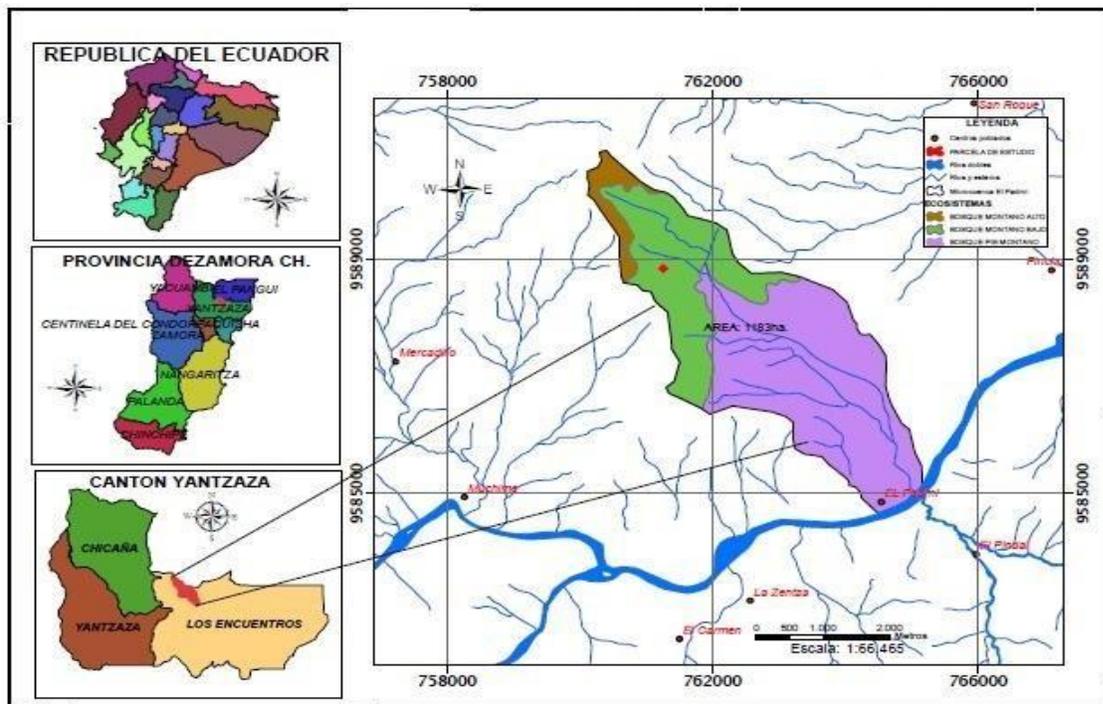
Existe una relación significativa entre los efectos de la luz y el grado de nutrición del cacao, denominada relación fertilización-sombra, es un factor decisivo para obtener buena productividad por unidad de superficie. En general, se indica que a mayor porcentaje de sombra se debe abonar con menos cantidad de nitrógeno (Arvelo *et al.*, 2017b).

La interacción sombra nutrición es muy poco estudiada, sin embargo, se dice que, bajo sombra, el rendimiento del cacao responde menos a los fertilizantes, pero la disminución del rendimiento también es menos severa (van Vliet *et al.*, 2015). Es lamentable que las relaciones entre la sombra-nutrición y sus efectos en los rendimientos, la respuesta de los fertilizantes y las necesidades de diferentes nutrientes del cacao, sean poco estudiadas (van Vliet *et al.*, 2015). Un estudio realizado en Ghana por Asare *et al.* (2017) en el que se evaluó la influencia de la variación de la cobertura del dosel y de la fertilización en el cacao, muestra que los rendimientos fueron más altos en las parcelas sin sombra que en las parcelas sombreadas; a pesar de esto se requiere más trabajo para explicar la relación entre la cobertura del dosel de los árboles de sombra y el rendimiento del cacao, especialmente a nivel de la finca.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del área de estudio

La presente investigación se realizó en la Estación Experimental “El Padmi” de la Universidad Nacional de Loja, ubicada en la parroquia Los Encuentros, cantón Yantzaza, provincia de Zamora Chinchipe, se evaluó las variables desde el 12 de julio hasta el 04 de octubre del 2020. La ubicación geográfica corresponde a 3°51'S 78°45'O, con una altitud de 820 msnm (Figura 2). El clima es considerado ecuatorial, cálido y lluvioso todo el año, sin estaciones, según la clasificación climática de Köppen-Geiger 2015. La temperatura media anual es de 22,7 °C, con precipitaciones promedio de 1 959 mm anuales, las cuales se reparten de forma homogénea durante todo el año, siendo agosto el mes más seco, con 132 mm, y el mes más húmedo abril, promediando 212 mm de precipitación (Cimate-data.org, 2020). De acuerdo al análisis inicial el suelo posee un pH de



5,53 y 11,4 % de materia orgánica.

Figura 2. Ubicación de lugar de estudio (estación experimental “El Padmi”).

3.2 Materiales, equipos e insumos

3.2.1 Materiales

Barretas, lampas, malla sarán, cinta métrica, flexómetro, fundas plásticas, machetes, hoyadoras.

3.2.2 Equipos

Espectrofotómetro, microscopio, cámara fotográfica, computadora, motosierra.

3.2.3 Insumos

Nitrato de calcio, nitrato de amonio, muriato de potasio, sulfato de magnesio, ácido bórico y 18-46-0.

3.3 Establecimiento y manejo del ensayo

Se trabajó con plantas de cacao clon EETP 800 en estado inicial de desarrollo, de medio año de edad, este genotipo fue liberado recientemente por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).

Previo al establecimiento del huerto de cacao, se realizaron actividades para la adecuación del terreno, debido a que este era proveniente de un bosque secundario. Se procedió a cortar el material vegetal y eliminar la maleza de manera manual. En el terreno despejado, se procedió a realizar los hoyos (20x20 cm y profundidad de 40 cm) donde se sembraron las plántulas el 16 de febrero del 2020, a una densidad de 714,3 plantas ha⁻¹ (3,5 x 4,0 m). Todas las plantas recibieron el mismo manejo agronómico, prácticas culturales y manejo de plagas y enfermedades acorde a las necesidades del cultivo, con el fin de controlar posibles fuentes de variación.

3.4 Tratamientos, diseño experimental y análisis estadístico

El ensayo evaluó el efecto de la disminución de la radiación solar incidente mediante sombreo, y, por otro lado, el efecto de la fertilización sobre algunas variables morfo fisiológicas en las plantas de cacao.

Para la modificación de la radiación se colocaron estructuras de madera de 1,5 m de altura cubiertas de malla sarán que interceptaba el 80 % de la radiación solar incidente (figura 3), para el factor sombreo se tuvieron dos niveles 0 y 80 % de sombra.

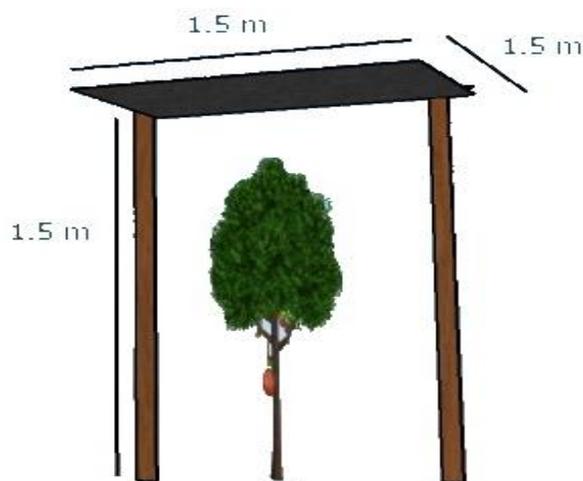


Figura 3. Esquema de la estructura en las plantas provistas de malla sarán al 80 % en cacao clon EETP 800.

Para el cálculo de los elementos minerales se tomó como base un análisis de suelo y también los requerimientos nutricionales del cultivo de cacao en etapa de establecimiento como en un estudio previo de Leiva (2013), se consideró N, P, K, Ca y Mg para la aplicación de los tratamientos. Se evaluaron dos niveles de fertilización: nivel 1: no se aplicó fertilizantes (0 %), y nivel 2: los nutrientes fueron aplicados de manera que se complete los requerimientos nutricionales de la planta (100 %) (Tabla 13; Anexo 7), la aplicación del fertilizante se realizó haciendo surco en forma de corona y depositando los fertilizantes a una profundidad de 5 cm en el suelo, la aplicación se realizó cada 20 días de manera fraccionada en 4 aplicaciones.

El experimento fue establecido bajo un diseño experimental completamente aleatorizado (DCA) con arreglo bifactorial, donde los factores fueron el sombreado y la fertilización, dando como resultado 4 tratamientos (Tabla 3) con 8 repeticiones, donde la unidad experimental estuvo constituida por 1 planta de cacao.

Tabla 3. Descripción de los tratamientos establecidos en el ensayo.

Número del tratamiento	Nombre del Tratamiento	Sombra (%)	Fertilización (%)
1	Testigo	0	0
2	Fertilizado	0	100
3	Sombreado	80	0
4	Sombreado y fertilizado	80	100

El esquema del diseño experimental dispuesto en campo se muestra en la figura 4; el delineamiento del ensayo se describe en la Tabla 4.

Tabla 4. Delineamiento del ensayo experimental.

Diseño	Cantidad
Número de tratamientos	4
Número de repeticiones	8
Unidad experimental	1 árbol de cacao
Número de unidades experimentales	32
Factores	2 (sombra y fertilización)

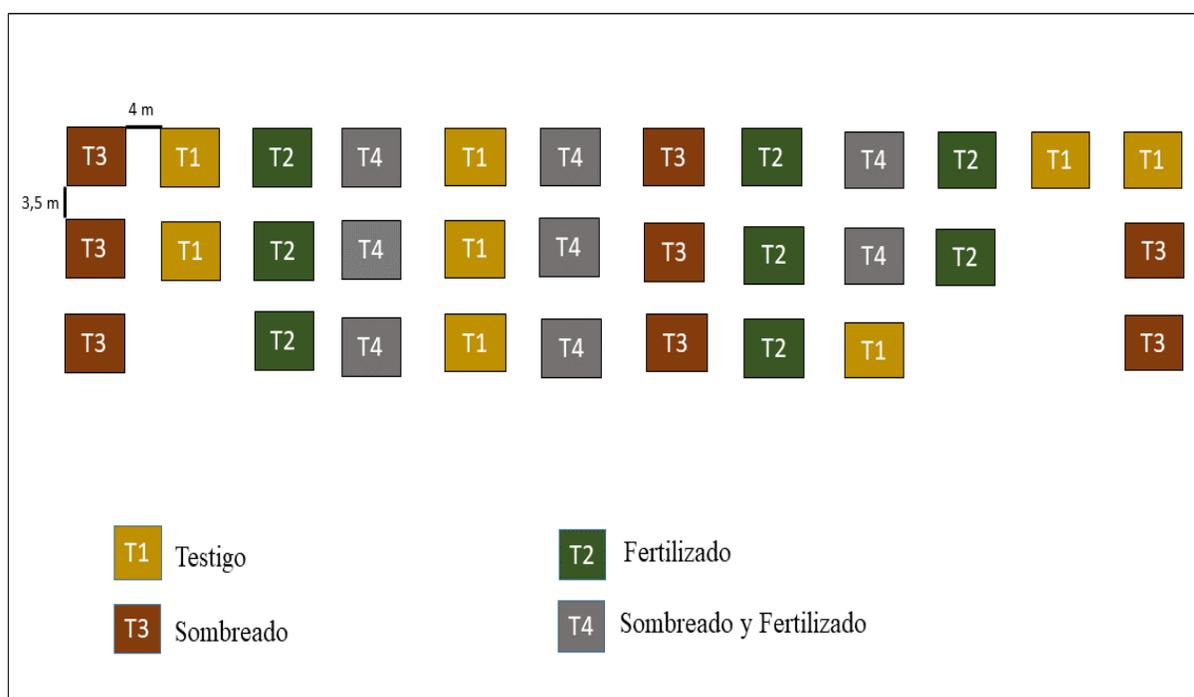


Figura 4. Esquema del diseño experimental en campo. Diseño completamente aleatorizado (DCA), con arreglo factorial de tratamientos.

Los datos registrados fueron tabulados en una base de datos de Microsoft Excel, luego para los análisis estadísticos se utilizó el software InfoStat versión 2018. Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANAVA) con un P valor < 0,05, también se realizaron pruebas de

comparación múltiple mediante el test de Tukey al 95 % de confianza, para determinar las diferencias significativas entre tratamientos (Di Rienzo et al., versión 2018). Para la construcción de los gráficos de altura de planta, ASTT, TCA, TCR, longitud de brotes, pH y CE se utilizó el software GraphPad Prisma 8.0.

Además, se correlacionaron todas las variables registradas durante el tiempo de evaluación usando el coeficiente de correlación de Pearson (P valor > 0,6). El modelo matemático utilizado en el análisis estadístico se detalla a continuación:

$$Y_{ijk} = U + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = respuesta de la k-ésima repetición en el i-ésimo nivel del factor A y j-ésimo nivel del factor B

u = media general de las observaciones

A_i = efecto que produce el i-ésimo nivel del factor A

B_j = efecto que produce el j-ésimo nivel del factor B

AB = efecto de la interacción entre el nivel i de A con el nivel j de B

ε_{ijk} = es el error asociado a la ijk de la i-ésima observación

3.5 Evaluación de variables morfológicas

Durante 4 meses en las 32 unidades experimentales, cada 20 días se evaluaron las siguientes variables morfológicas:

3.5.1 Diámetro del portainjerto

Se tomó el dato a una altura de 5 cm sobre el suelo, utilizando un calibrador, el dato se expresó en centímetros (cm). Esta variable se midió al inicio y al final del ensayo.

3.5.2 Altura de la planta

Este indicador se midió con un flexómetro, tomando el dato desde el cuello o base de la planta hasta el ápice, el dato obtenido se expresó en centímetros (cm).

3.5.3 Longitud de brote

Se seleccionaron y etiquetaron 2 brotes por planta posicionados en el tercio superior de la altura de la planta, y se midió su crecimiento longitudinal en centímetros con una cinta métrica.

3.5.4 Tasa de crecimiento absoluta (TCA)

A los brotes seleccionados para medir su longitud se les determinó la TCA para observar el incremento de longitud del órgano por unidad de tiempo mediante la siguiente fórmula: $TCA = \Delta L / \Delta t$, donde: ΔL = longitud final - longitud inicial y Δt = tiempo final - tiempo inicial.

3.5.5 Tasa de crecimiento relativa (TCR)

Sobre los brotes marcados para longitud se determinó TCR que corresponde al incremento de longitud por unidad de tamaño y por unidad de tiempo, para ello se usó la siguiente fórmula: $TCR = 1 / Li \times \Delta L / \Delta t$, donde: Li = longitud inicial, ΔL = longitud final - longitud inicial y Δt = tiempo final - tiempo inicial.

3.5.6 Área foliar del brote

Se seleccionaron 25 hojas de cacao al azar para obtener una función mediante regresión que permita estimar el área foliar, para lo cual se midió largo y ancho con una cinta métrica graduada en centímetros, a las mismas hojas se las fotografió y luego mediante el software Photoshop se determinó su área foliar. Este proceso se realizó una sola vez y con estos datos, por medio de regresión, se obtuvo una ecuación para estimar el área foliar a partir del ancho de la hoja. Posteriormente se seleccionaron todas las hojas completamente expandidas y se midieron la respectiva anchura, luego por medio de la ecuación se estimó su área. Esta medición se realizó al final del ensayo.

3.5.7 Longitud y número de metámeros

En los brotes seleccionados, se contó el número de entrenudos y se dividió para la longitud total del brote, obteniendo la longitud promedio de metámero en el brote. Esta medición se realizó con una cinta métrica, en centímetros; se midió al final del ensayo.

3.5.8 Área de sección transversal del tronco (ASTT)

A partir de las mediadas anteriores del diámetro del tronco y con la siguiente fórmula se calculó el área de la sección transversal del tronco: $ASTT = C^2 4\pi^{-1}$, donde: C = circunferencia del tronco, C= diámetro x π . Esta medida se expresó en cm^2 (Zambrano, 2020).

3.6 Metodología para el segundo objetivo

Las variables fisiológicas se midieron una sola vez al final del ensayo, es decir a los 84 días después de la aplicación de los tratamientos (DDAT).

3.6.1 Concentración de clorofila

Se midió la concentración de clorofila A (Ca), B (Cb) y la clorofila total (C total), mediante Espectrometría utilizado el protocolo de un estudio previo de Rodes y Collazo (2006).

Se tomaron 12 muestras de hojas totalmente funcionales (tres hojas por tratamiento) ubicadas en el tercio medio del brote, 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 llevaron a la incubadora por 20 minutos a baño maría a 80 °C para que los pigmentos fotosintéticos (clorofila) 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, y finalmente se sacaron los restos de las muestras de los tubos, se filtraron y centrifugaron y se llevaron al espectrómetro para realizar las lecturas.

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

$$Ca \left(\frac{ml}{g} \right) = [(12,7 \times A_{663}) - (2,69 \times A_{645})] \times \frac{\text{volúmen de extracto (ml)}}{\text{peso de la hoja (g)}}$$

$$Cb \left(\frac{ml}{g} \right) = [(22,9 \times A_{645}) - (4,68 \times A_{663})] \times \frac{\text{volúmen de extracto (ml)}}{\text{peso de la hoja (g)}}$$

$$C_{total} \left(\frac{ml}{g} \right) = [(20,2 \times A_{645}) - (8,02 \times A_{663})] \times \frac{\text{volúmen de extracto (ml)}}{\text{peso de la hoja (g)}}$$

3.6.2 Índice de área foliar (IAF)

Con el uso de estimaciones alométricas y considerando el área foliar obtenida previamente, se determinó el área total de la cobertura foliar, el IAF indica la relación entre el área foliar total y la superficie del suelo que ocupa dicha área, la cual al dividir área/área es adimensional es decir no presenta unidades. Su cálculo con la fórmula: IAF= área foliar/superficie del suelo.

3.6.3 Densidad estomática

Se tomaron 12 hojas, tres por cada tratamiento, esta variable se midió mediante la técnica de la impronta descrita por Barrientos *et al.* (2003), la cual consistió en utilizar una fina capa de esmalte para uñas transparente en un área pequeña en el envés de la hoja, después que el esmalte se secó, la capa se removió y montó en un portaobjetos. Se tomaron dos muestras de cada hoja, en la región de la parte central entre las venas secundarias. Las muestras se observaron en el microscopio OLYMPUS CX31 con un aumento de 10X y mediante el uso del programa Micro Cam Ver 5.7 se procedió a fotografiar 6 campos por muestra, luego para el conteo de estomas se procedió a marcar en cada fotografía un área de 120 000 μm^2 , siendo ésta el área de conteo, el dato final se expresó en número de estomas por mm^2 .

3.6.4 Determinación de pH y conductividad eléctrica (CE) del suelo

Durante un periodo de 4 meses, cada 20 días se realizó análisis de pH del suelo, se tomaron 16 muestras (cuatro repeticiones por tratamiento), cada muestra contenía 130 g de suelo, 100 g para CE y 30 g para pH, las muestras se tomaron de tres puntos alrededor de la planta de aproximadamente 5 cm de distancia del tronco. El análisis se realizó en el laboratorio de suelos, agua y bromatología de la Universidad Nacional de Loja, con la ayuda de un potenciómetro y un conductímetro se procedió a medir el pH y la CE respectivamente, para ello se utilizó una relación 1:2 (por cada gramo de suelo se utilizó 2 cm^3 de agua destilada), esta medición nos permitió conocer los cambios de pH que se dieron en el suelo ante la aplicación de los fertilizantes.

4. RESULTADOS

4.1 Variables morfológicas

4.1.1 Diámetro del tronco

La Figura 5 muestra el diámetro del tronco evaluado a los 0 y 84 días después de la aplicación de los tratamientos, no existen diferencias estadísticas significativas ($P > 0,05$), sin embargo, se observa que las plantas con el testigo (T1) obtuvieron un mayor diámetro con una media de 2,32 y 2,69 cm, a los 0 y 84 días respectivamente, mientras que las plantas con fertilización (T2) obtuvieron el menor diámetro con una media de 1,74 y 2,01 cm, a los 0 y 84 días respectivamente.

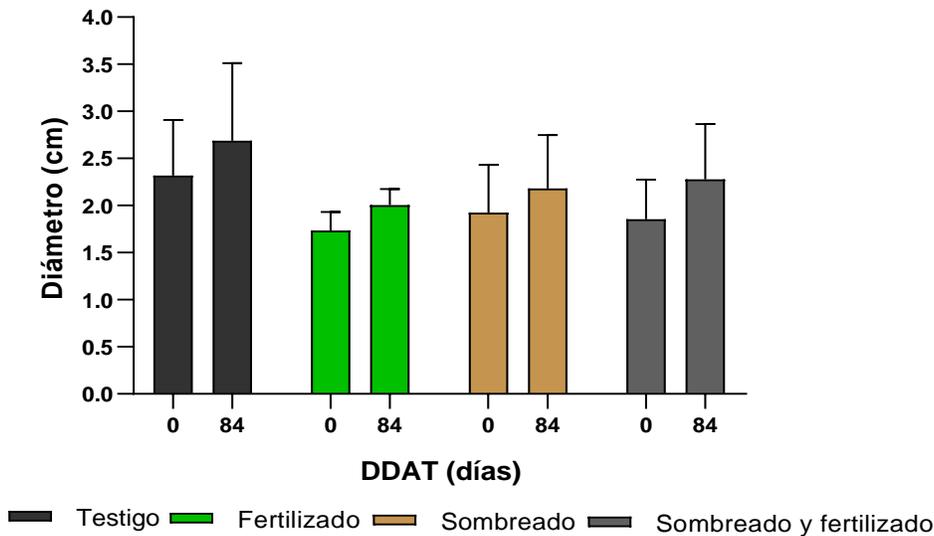


Figura 5. Crecimiento del diámetro del portainjerto desde el inicio hasta el final del ensayo. DDAT: días después de la aplicación de los tratamientos. Los datos son promedios de 8 repeticiones.

4.1.2 Área de la sección Transversal del tronco (ASTT) y tasa de crecimiento absoluta (TCA)

El área de sección transversal del tronco, evaluado a los 0 y 84 días después de iniciado el ensayo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($P > 0,05$) (Tabla 5). Sin embargo, el tratamiento con mayor área fue el testigo con una media de 6,14 cm². En cuanto al incremento del ASTT igualmente el testigo obtuvo la mayor media de 1,68 cm²; los mismo sucedió con la TCA el testigo creció 0,020 cm² día⁻¹.

Tabla 5. Variables obtenidas del área de la sección transversal del tronco (ASTT).

Tratamiento	ASTT (cm ²)		Incremento ASTT (cm ²)	TCA cm ² . día ⁻¹
	1 día	84 días		
T1: Testigo	4,46	6,14	1,68	0,020
T2: Fertilizado	2,39	3,18	0,78	0,010
T3: Sombreado	3,09	3,96	0,87	0,011
T4: Sombreado y Fertilizado	2,82	4,32	1,49	0,018

4.1.3 Incremento de la altura y tasa de crecimiento absoluta (TCA) de plantas

La Figura 6 muestra la altura de las plantas a los 0; 20; 40; 61 y 84 días de iniciado el ensayo, donde no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P > 0,05$), sin embargo, se observa que el testigo obtuvo mayor altura a los 84 DDAT con una media de 95,2 cm, seguido del tratamiento con sombra y fertilización con una media de 85,3 cm, luego el tratamiento con sombra con una media de 83,1 cm y luego con la media más baja el tratamiento con fertilización alcanzando una media de 68,8 cm.

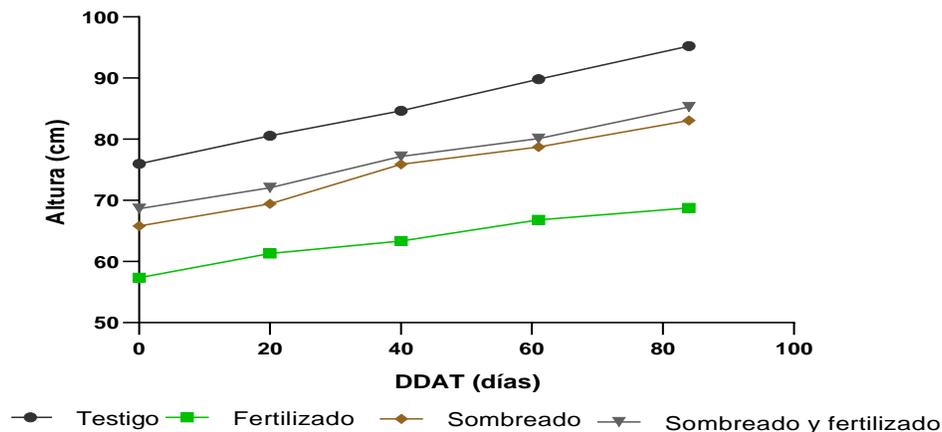


Figura 6. Dinámica del crecimiento en longitud de plantas de cacao clon EETP800. DDAT: días después de la aplicación de los tratamientos. Los datos son promedios de 8 repeticiones.

En el incremento de la altura de la planta no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P > 0,05$), aunque si se observan variaciones entre tratamiento. A los 84 días se observó que el tratamiento testigo obtuvo el mayor valor de 19,25 cm, seguido del tratamiento con sombra con una media de 17,26 cm, luego el tratamiento con sombra y fertilización con 16,63 cm y finalmente el tratamiento con fertilización con una media de 11,40 cm (Figura 7).

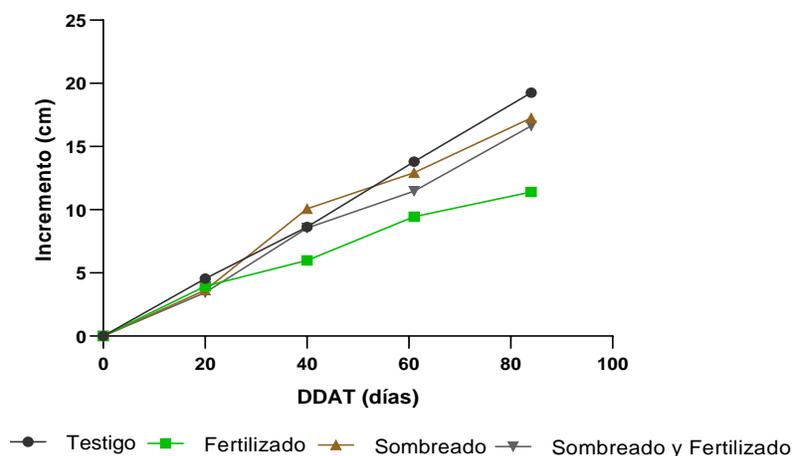


Figura 7. Dinámica del incremento de la altura en plantas de cacao clon EETP800. DDAT: días después de la aplicación de los tratamientos. Los datos son promedios de 8 repeticiones.

En la Tabla 6 se muestran las tasas de crecimiento absoluta (TCA) correspondientes a cada tratamiento, se evidenció diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$). A los 40 días de iniciado el ensayo, se observó que el T3 presentó diferencias estadísticas significativas, es decir la sombra influyó en el aumento de la TCA, tal como se muestra en la Figura 8.

Tabla 6. Tasa de crecimiento absoluta (TCA) promedio de planta en cacao clon EETP 800.

Tratamiento	Factor		20 DDT (cm/día)	40 DDT (cm/día)	61 DDT (cm/día)	84 DDT (cm/día)
	Sombra (%)	Fertilización (%)				
T1: Testigo	0	0	0,23	0,20	0,25	0,24
T2: Fertilizado	0	100	0,20	0,10	0,16	0,08
T3: Sombreado	80	0	0,18	0,32 *	0,14	0,19
T4: Sombreado y Fertilizado	80	100	0,17	0,26	0,14	0,22

La mayor TCA se obtuvo en plantas bajo sombra del 80 %, alcanzaron una media de $0,29 \text{ cm día}^{-1}$, a los 40 días de iniciado en ensayo, mientras que la menor TCA se registró en plantas a pleno sol, con una media de $0,15 \text{ cm día}^{-1}$ (Figura 8).

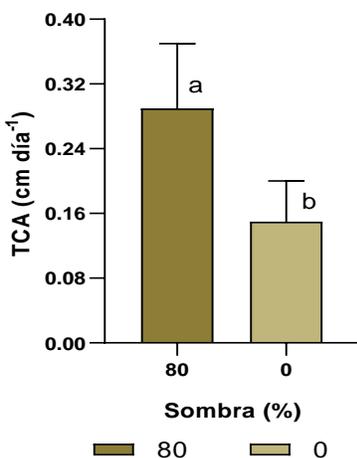


Figura 8. Tasa de crecimiento absoluta a los 40 días de iniciado el ensayo en cacao clon EETP800.

4.1.4 Longitud del brote y tasas de crecimiento, absoluta (TCA) y relativa (TCR)

En la longitud de los brotes no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P > 0,05$), sin embargo, se observa que al final del ensayo el tratamiento con sombra y fertilización obtuvo la mayor media de 16,81 cm, seguido del tratamiento con sombra con 16,41 cm, luego el tratamiento testigo con 16,06 cm y finalmente el tratamiento con fertilización que alcanzó una media de 13,21 cm (Figura 9).

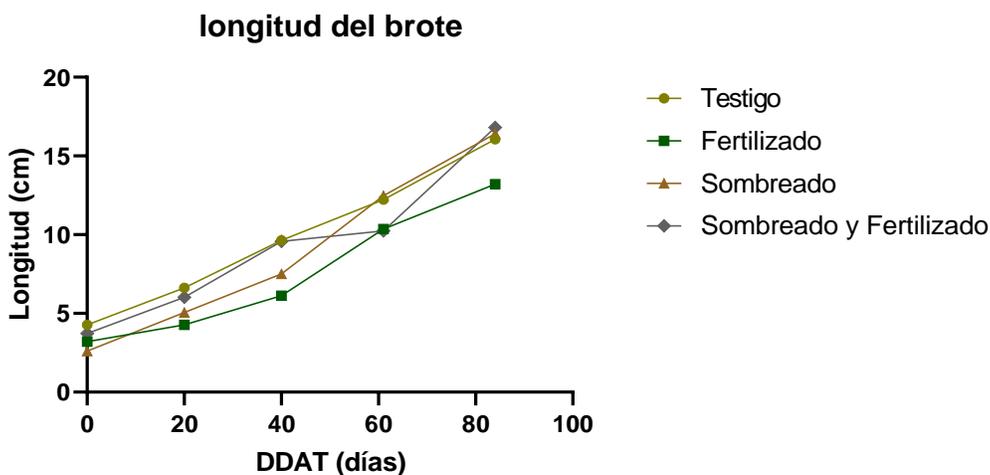


Figura 9. Dinámica del crecimiento en longitud de brotes de cacao clon EETP800. DDAT: días después de la aplicación de los tratamientos. Los datos son promedios de 5 repeticiones.

En cuanto al incremento de la longitud del brote no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P > 0,05$) (Figura 10), aunque sí se observó ligeras variaciones en el incremento de

la longitud por fechas y por tratamiento. Así a los 20 días, el tratamiento con mayor incremento fue el provisto de sombra y fertilización el cual alcanzó una media de 2,44 cm, mientras tanto que a los 40 días el tratamiento con mayor incremento fue el sombreado con una media de 2,55 cm, en cambio a los 61 días la mayor media la tiene el tratamiento sombreado con 4,97 cm, a los 84 días igualmente el tratamiento sombreado obtuvo la mayor media con 3,94 cm.

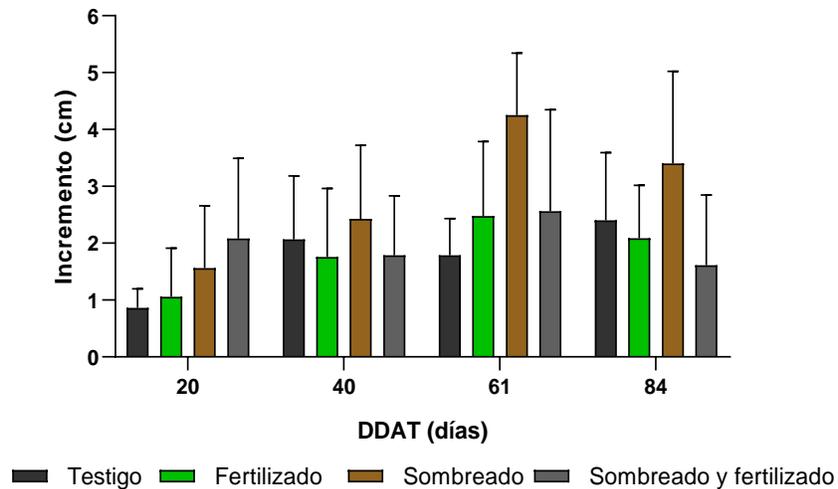


Figura 10. Incremento en la longitud de los brotes en plantas de cacao clon EETP800. DDAT: días después de la aplicación de los tratamientos. Los datos son promedios de 5 repeticiones.

Asimismo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P > 0,05$) en las TCA, sin embargo, se observa que a los 20 días la mayor TCA la obtuvo el tratamiento sombreado y fertilizado, que alcanzó una media de $0,091 \text{ cm día}^{-1}$, por otra parte, a los 40 días la mayor TCA la obtuvo el tratamiento sombreado, con una media de $0,136 \text{ cm día}^{-1}$, de igual manera a los 61 días la mayor TCA se registró en el tratamiento con sombra, que alcanzó una media de $0,172 \text{ cm día}^{-1}$, mientras tanto que a los 84 días la mayor TCA se registró en el tratamiento testigo que registró una media de $0,160 \text{ cm día}^{-1}$ (Figura 11).

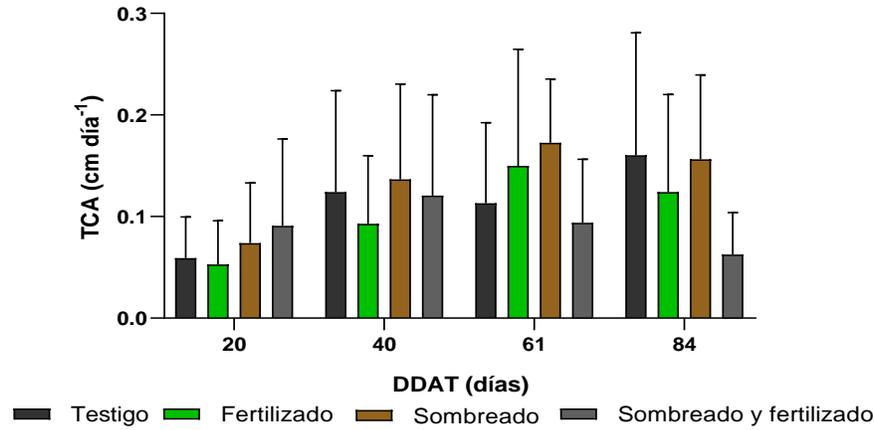


Figura 11. Tasas de crecimiento absoluta de los brotes en plantas de cacao clon EETP800. DDAT: días después de la aplicación de los tratamientos. Los datos son promedios de 5 repeticiones.

En la Figura 12 se observan las medias de la TCR evaluadas a los 20, 40, 61 y 84 días de iniciado el ensayo no evidenciándose diferencias estadísticas significativas, sin embargo, el tratamiento sombreado se destacó del resto, así a los 20 días alcanzó una media de 0,012 mm cm día⁻¹, a los 40 días alcanzó una media de 0,018 mm cm día⁻¹, a los 61 días obtuvo una media de 0,020 mm cm día⁻¹ y a los 84 días una media de 0,012 mm cm día⁻¹.

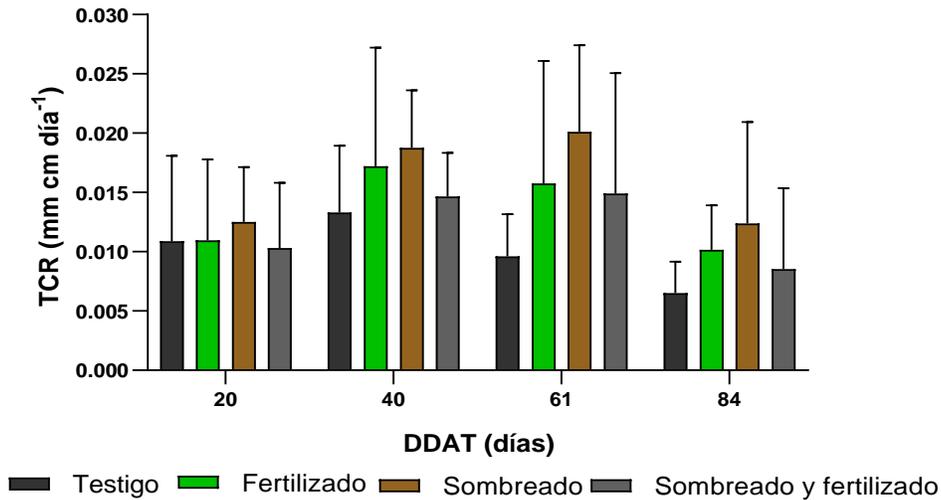


Figura 12. Tasas de crecimiento relativa de los brotes en plantas de cacao clon EETP800. DDAT: días después de la aplicación de los tratamientos. Los datos son promedios de 5 repeticiones.

4.1.5 Área foliar de brotes y área foliar de plantas

El área foliar los brotes y área foliar de plantas fue determinada utilizando una medida alométrica, basada en un análisis de regresión cuyo mejor ajuste fue el modelo potencial para el ancho de la hoja, es decir, el área foliar puede expresarse midiendo el ancho de hoja como se muestra en la Figura 13. La ecuación que se derivó del análisis alométrico es $2,8584x^{1,8111}$ con un $R^2 = 0,99$.

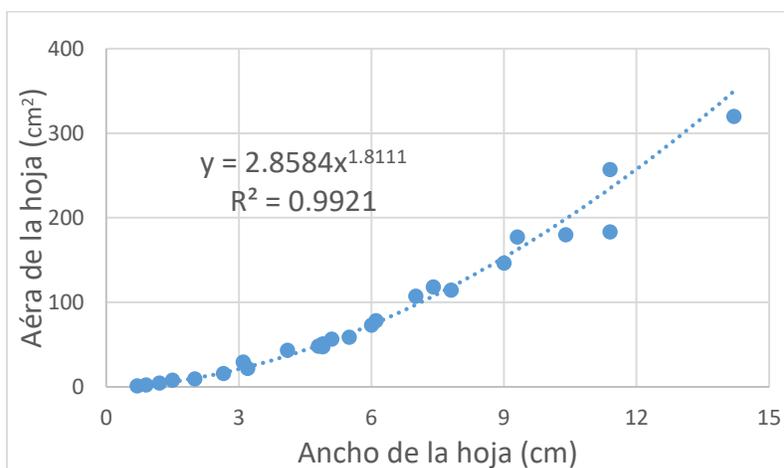


Figura 13. Gráfico de puntos del área foliar versus ancho de la hoja determinado a partir de hojas de cacao clon EETP 800.

En la Tabla 7 se muestra promedios del área foliar del brote, área foliar de la planta y el índice de área foliar (IAF) evaluados a los 84 días después de iniciado el ensayo. En cuanto al área foliar de la planta no existió diferencias estadísticas significativas sin embargo el tratamiento sombreado (T3) obtuvo la mayor media, que alcanzó $13\,633,95\text{ cm}^2$, lo mismo se sucede en la variable de IAF, no hubo diferencia significativa, pese a ello el tratamiento sombreado (T3) alcanzó la mayor media, siendo esta de 0,097. En el área foliar de los brotes existió diferencia estadística por efecto de la sombra.

Tabla 7. Área foliar de los brotes, área foliar de la planta e IAF (índice de área foliar), a los 84 días después de iniciado el ensayo.

Tratamiento	Factor		Área foliar Brote (cm ²)	Área foliar total (cm ²)	IAF
	Sombra (%)	Fertilización (%)			
T1: Testigo	0	0	317,10	12 985,75	0,093
T2: Fertilizado	0	100	412,69	6 519,28	0,047
T3: Sombreado	80	0	1 044,30 *	13 633,95	0,097
T4: Sombreado y Fertilizado	80	100	615,30	9 602,74	0,069

Al evaluar el área foliar de los brotes (Tabla 10), se muestra que no existió interacciones entre los factores sombra y fertilización; sin embargo, el factor sombra (T3) actuó independientemente y existieron diferencias significativas entre sus niveles como se muestra en la Figura 14.

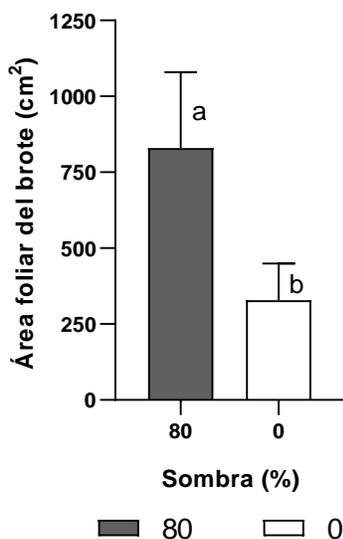


Figura 14. Área foliar de los brotes a los 84 días de iniciado el ensayo en el cultivo de cacao clon EETP800.

La mayor área foliar de los brotes evaluados a los 84 días de iniciado el ensayo se obtuvo con la aplicación de sombra del 80%, que alcanzó una media de 829,80 cm² y, la menor área foliar se obtuvo en plantas a pleno sol, alcanzando una media de 329,06 cm² (Figura 14).

4.1.6 Longitud y número de metámeros

Los resultados de la longitud y número de metámeros (Tabla 8) muestra que no existió diferencias estadísticas significativas evaluados a los 84 días de iniciado el ensayo ($P > 0,05$), aunque si se observaron variaciones entre tratamientos en cuanto a longitud y número de metámeros; así el tratamiento testigo alcanzó la mayor longitud, llegando a 1,80 cm, mientras que los valores más bajos le corresponden al tratamiento con fertilización con 1,56 cm; lo mismo sucedió en el número de metámeros el testigo alcanzó una media de 8,75 metámeros y el tratamiento con fertilización una media de 8,20 metámeros.

Tabla 8. Longitud y número de metámeros a los 84 días después de iniciado el ensayo.

Tratamiento	Factor		Longitud de metámeros (cm)	Número de metámeros
	Sombra (%)	Fertilización (%)		
T1:Testigo	0	0	1,63	8,33
T2: Fertilizado	0	100	1,56	8,20
T3: Sombreado	80	0	1,76	8,29
T4:Sombreado y Fertilizado	80	100	1,80	8,75

4.2 Variables fisiológicas

4.2.1 Contenido de clorofila

En la Tabla 9 se presenta los resultados del contenido de clorofila A, B y total evaluadas a los 84 días de iniciado el ensayo, se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$). En cuanto a la clorofila A, hubo efecto de la sombra, y por tanto se hizo una prueba de comparación de medias para ver la diferencia estadística entre sus niveles como se muestra en la Figura 15. En cuanto a la clorofila B se encontró una interacción sombra-fertilización, es decir hay contenidos de clorofila B distintos por efecto de los niveles de sombra y los niveles de fertilización, como se muestra en la Figura 16, lo mismo sucedió en el contenido de clorofila total en donde hubo interacción entre los factores sombra y fertilización, por lo que se realizó una prueba de comparación de medias para ver la diferencia estadística como se muestra en la Figura 17.

Tabla 9. Contenido de clorofila A, B y total a los 84 días después de iniciado el ensayo.

Tratamiento	Factor		Clorofila A (ml/g)	Clorofila B (ml/g)	Clorofila total (ml/g)
	Sombra (%)	Fertilización (%)			
T1:Testigo	0	0	32,90	14,57	47,43
T2: Fertilizado	0	100	31,90	11,87	43,77
T3: Sombreado	80	0	40,93 *	16,20	57,10
T4:Sombreado y Fertilizado	80	100	56,57	38,20 *	94,73 *

El mayor contenido de clorofila A, se registró en plantas bajo sombra del 80 % con una media de 48,75 ml g⁻¹, mientras que el menor contenido de clorofila A se registró en plantas a pleno sol, obteniendo una media de 32,40 ml g⁻¹ (Figura 15).

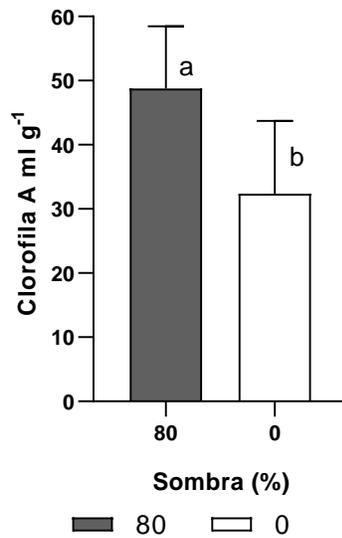


Figura 15. Contenido de clorofila A, en dos niveles de sombreado (0 % y 80 %) en cacao clon EETP800.

La Figura 16 muestra los valores del contenido de clorofila y se evidenció que el mayor contenido de clorofila B, se registró en plantas con el 80 % sombra y 100 % fertilización alcanzando una media de 38,20 ml g⁻¹ siendo la más elevada, mientras tanto que al aplicar 80 % sombra y 0 % fertilización, 0 % sombra y 0 % fertilización, 0 % sombra y 100 % fertilización resultaron con valores estadísticamente similares de 16,20 ml g⁻¹; 14,57 ml g⁻¹ ml g⁻¹ y 11,87 respectivamente.

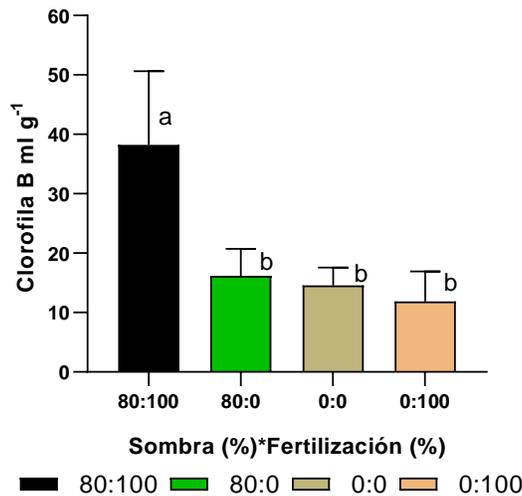


Figura 16. Contenido de clorofila B, en interacción con dos niveles de sombreado (0 % y 80 %) y dos niveles de fertilización (0 % y 100 %) en cacao clon EETP800.

La Figura 17 muestra el resultado de un test de Tukey referente a la clorofila total. El mayor contenido de clorofila total se registró en el tratamiento con el 80 % de sombra y 100 % de

fertilización alcanzando una media de $94,73 \text{ ml g}^{-1}$, por otra parte, los tratamientos con el 0 % sombra y 0 % fertilización, 0% sombra y 100 % fertilización se tuvieron medias estadísticamente similares de 47,73 y 43,77 respectivamente.

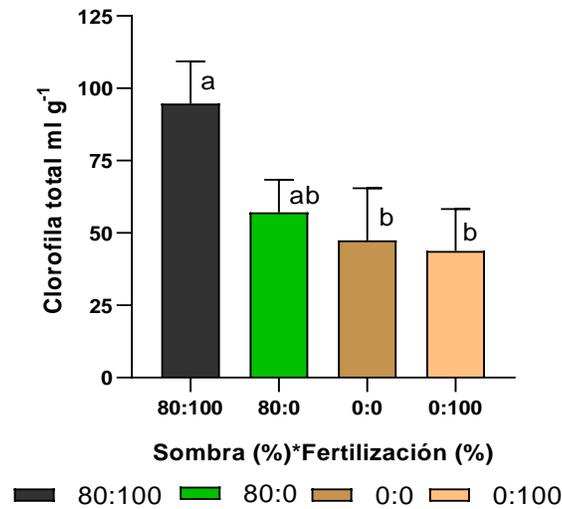


Figura 17. Contenido de clorofila total, en interacción con dos niveles de sombreado (0 % y 80 %) y dos niveles de fertilización (0 % y 100 %) en cacao clon EETP800.

4.2.2 Densidad estomática

En cuanto a la densidad estomática evaluada al final del ensayo (Figura 18) el análisis de varianza indicó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tabla 10).



Figura 18. Estomas en hojas de cacao clon EETP800, observados al microscopio con un aumento de 40X. No hubo interacción entre factores, sin embargo, se evidenció un efecto significativo de la sombra (T2) existiendo diferencias significativas entre sus niveles (0 % y 80 %) como se muestra en la Figura 19. El tratamiento en el que se registró la mayor densidad estomática fue el T3 con una

media de 706,60 estomas mm^{-2} , seguido del T4 con una media de 703,61 estomas mm^{-2} , luego le sigue el T1 con una media de 640,73 estomas mm^{-2} y por último el T2 con una media de 454,02 estomas mm^{-2} .

Tabla 10. Medias de la densidad estomática evaluadas el final del ensayo en hojas de cacao clon EETP800.

Tratamiento	Factor		Densidad estomática (estoma/ mm^2)
	Sombra (%)	Fertilización (%)	
T1: Testigo	0	0	640,73
T2: Fertilizado	0	100	454,02
T3: Sombreado	80	0	709,60 *
T4: Sombreado y Fertilizado	80	100	703,61

La Figura 19 muestra las diferencias estadísticas significativas entre los dos niveles de sombra (0 % y 80 %), la mayor densidad estomática se registró en las plantas con un 80% de sombra que alcanzaron una media de 706,61 estomas mm^{-2} , mientras que la menor densidad estomática se obtuvo en plantas a pleno sol, con una media de 547,38 estomas mm^{-2} .

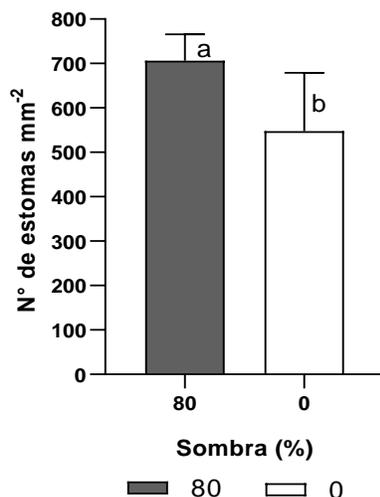


Figura 19. Número de estomas por mm^2 , en dos niveles de sombreado (0 % y 80 %) en cacao clon EETP800. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa, según prueba de Tukey (Alfa < 0,05).

4.2.3 Análisis de pH y conductividad eléctrica del suelo

La Figura 20 muestra las curvas de pH evaluadas en diferentes días después de iniciado el ensayo. Se inició con un mismo resultado de pH (5,53), del análisis de suelo general previo a iniciar el ensayo. Se encontraron diferencias estadísticas significativas a los 20 días y 40 días de iniciado el

ensayo, pero no existieron diferencias significativas a los 61 y 84 días. A los 20 días el mayor valor se obtuvo en el tratamiento testigo con una media de 5,8, mientras que el valor más bajo se registró en el tratamiento con fertilización con 5,2. A los 40 días el mayor valor del pH se encontró en el tratamiento con sombra, con 5,6, mientras que la media más baja se encontró en el tratamiento con fertilización con 5,0. Cabe mencionar que a los 61 días el tratamiento testigo obtuvo el valor más elevado con 5,6, mientras que el valor más bajo fue para el tratamiento con sombra y fertilización; a los 84 días se tienen valores de pH similares.

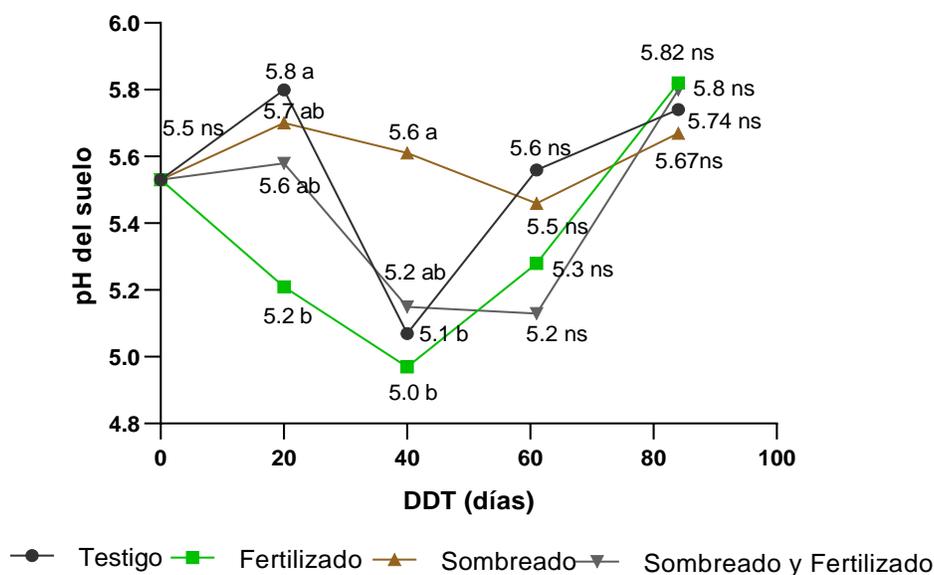


Figura 20. Curvas de pH de suelo sometido a cuatro tratamientos en el cultivo de cacao clon EETP 800.

Las medias de CE evaluadas en diferentes días de iniciado en ensayo se encontraron diferencias estadísticas significativas solo a los 20 días (Tabla 11), el mayor valor se registró en el tratamiento fertilizado con una media de 0,502 dS m⁻¹, mientras que el valor más bajo se obtuvo en el tratamiento testigo con 0,181 dS m⁻¹. A los 40, 61 y 84 días no se encontraron diferencias estadísticas, sin embargo a los 40 días el mayor valor se registró en el tratamiento sombreado y fertilizado con una media de 0,696 dS m⁻¹, a los 61 y 84 días la mayor media se registró en el tratamiento fertilizado, con valores de 0,465 dS m⁻¹ y 0,729 dS m⁻¹.

Tabla 11. Conductividad eléctrica del suelo, sometido a cuatro tratamientos en cacao clon EETP800.

Tratamiento	Factor		20 DDT (dS/m)	40 DDT (dS/m)	61 DDT (dS/m)	84 DDT (dS/m)
	Sombra (%)	Fertilización (%)				
T1: Testigo	0	0	0,181 b	0,411 ns	0,332 ns	0,599 ns
T2: Fertilizado	0	100	0,502 a	0,369 ns	0,465 ns	0,729 ns
T3: Sombreado	80	0	0,136 b	0,387 ns	0,441 ns	0,155 ns
T4: Sombreado y Fertilizado	80	100	0,489 a	0,696 ns	0,416 ns	0,388 ns

4.2.4 Correlaciones entre variables

La Tabla 12 muestra las correlaciones existentes entre las variables: clorofila A, clorofila B, clorofila total, diámetro del patrón, diámetro de la vareta, índice de área foliar, diámetro del tronco, área de la sección transversal del tronco, área foliar, longitud y número de metámeros, longitud del brote y tasa de crecimiento absoluta.

Tabla 12. Correlaciones entre variables morfológicas y fisiológicas evaluadas en cacao clon EETP800.

Variable (1)	Variable (2)	Pearson	P valor	Significancia
Clorofila A	Clorofila B	0,82	0,0010	**
Clorofila A	Clorofila total	0,96	<0,0001	***
Clorofila B	Clorofila total	0,95	<0,0001	***
Diámetro del patrón	Diámetro de la vareta	0,97	<0,0001	***
Diámetro del tronco	Área foliar	0,67	0,0172	*
Diámetro del patrón	IAF	0,67	0,0180	*
Área foliar	Altura de planta	0,79	0,0024	**
Área foliar	ASTT	0,66	0,0190	*
Altura de planta	IAF	0,78	0,0027	**
Altura de planta	ASTT	0,94	<0,0001	***
Longitud del brote	Número de metámeros	0,99	<0,0001	***
Longitud del brote	Longitud de metámeros	0,87	0,0003	**
Número de metámeros	Longitud de metámeros	0,78	0,0027	**
IAF	TCA	0,61	0,0359	*

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 un nivel significancia ($p < 0,05$). Las variables que presentaron una fuerte correlación positiva son: el contenido de clorofila A con contenido de clorofila total ($r = 0,96$; $p < 0,0001$), contenido de clorofila B con contenido de clorofila total ($r = 0,95$; $p < 0,0001$), diámetro del patrón con el

diámetro de la vareta ($r = 0,97$; $p < 0,0001$), altura de planta con ASTT ($r = 0,94$; $p < 0,0001$), y longitud del brote con número de metámeros ($r = 0,99$; $p < 0,0001$).

5. DISCUSIÓN

La mayoría de variables morfológicas tales como: altura de planta, incremento de la altura, diámetro del tronco, ASTT, incremento de ASTT y TCA, no presentaron diferencias estadísticas entre sus medias, esto puede estar ligado al poco tiempo de evaluación de las variables (84 días) y quizá no fue suficiente para evidenciar las diferencias en el crecimiento en esta especie, así lo afirma Snoeck *et al.* (2016), la fertilización de un cultivo de árboles de cacao requiere un manejo a largo plazo porque los árboles tienen una capacidad de amortiguación (capacidad de estabilizar el pH cuando un elemento ácido o alcalino se agrega al suelo) que puede diferir en las respuestas a la fertilización. Por otra parte, ciertos fertilizantes tienen liberación lenta, entre los que se utilizó en la investigación está el nitrato de amonio, que libera el amonio de forma lenta, y por tanto requieren de más tiempo para tener efecto en las plantas.

Las plantas sometidas a pleno sol y sin fertilización (testigo) en promedio, obtuvieron los mayores valores, esto puede estar relacionado con la heterogeneidad de las plantas al inicio de la aplicación de los tratamientos. En general la fertilización tuvo poca influencia en las variables morfológicas, puesto que en el tratamiento provisto de fertilización al 100 % se obtuvieron valores bajos, esto pudo ser debido a que las plantas fertilizadas tuvieron mayor descenso del pH durante el experimento, lo cual puede disminuir notablemente la disponibilidad de los nutrientes como N, P y K, Ca y Mg (Snoeck *et al.*, 2016). Además el cacao responde bien a las aplicaciones de fertilizantes sólo si el manejo, las prácticas de cultivo, el suelo y las condiciones climáticas son favorables y así los suelos pueden suministrar los nutrientes necesarios y a tiempo (van Vliet y Giller, 2017).

Por otra parte, existe un alto contenido de manganeso en el suelo, este nutriente está ligado directamente a la producción de clorofila y un alto nivel en el suelo puede causar toxicidad y complicar la actividad fotosintética, también existe un alto contenido de hierro, lo cual es normal en algunos suelos así lo asegura Guerra (2013), el hierro (Fe) se encuentra en alta concentración en todos los suelos, pero el nivel disponible para las plantas se encuentra tan bajo que no produce efectos tóxicos, aunque en situaciones particulares como en suelos inundados, los niveles de hierro pueden incrementarse hasta llegar a niveles tóxicos debido a que en suelos saturados con agua aumenta la solubilidad de este elemento. La alta disponibilidad de hierro causa toxicidad en las

plantas manifestándose como necrosis en las hojas (manchas de color castaño), y disminución de biomasa radicular, esto disminuye el crecimiento de la planta y el rendimiento del cultivo. El manganeso (Mn) en altas concentraciones también puede afectar el rendimiento de los cultivos, los síntomas son similares a los producidos por la toxicidad del hierro y puede inducir la deficiencia de otros nutrientes como el magnesio y el calcio (Snoeck *et al.*, 2016).

Es probable también a nivel foliar pudo haber un desbalance nutricional, en nuestras condiciones no fue posible realizar dichos análisis, lo que nos limita a aseverar o constatar la preposición mencionada con anterioridad, con esto se puede explicar en gran parte del por qué las plantas fertilizadas no prosperaron de manera notable. Pues el diagnóstico foliar es útil para detectar desequilibrios de nutrientes en la planta para determinar el uso y dosis de fertilizantes es correcta (Snoeck *et al.*, 2016; Vera-Vélez *et al.*, 2019).

El cuanto a la longitud de los brotes a los 84 días, los mayores valores se observaron en plantas bajo sombra del 80 % y fertilización del 100 %, así mismo en el incremento de la longitud de los brotes a los 20 días se tuvo mayores valores en el tratamiento con sombra y fertilización, mientras que a los 40, 61 y 84 días las mayores medias se registraron en el tratamiento con sombra, lo cual sugiere que la sombra es de vital importancia para el cultivo en etapa de establecimiento, así también lo reportaron Tezara *et al.* (2015). Por su parte Jaimez *et al.* (2018) afirman que el cacao es cultivado comúnmente en sombra en el sotobosque, bajo condiciones de reducida disponibilidad lumínica; especialmente las plantas en estados juveniles requieren bajas densidades de flujo fotónico (DFF) para reducir el déficit hídrico y de nutrientes que puede ocurrir a plena exposición solar, por lo que si se quiere cultivar planta a plena exposición solar éstas sufren un proceso de aclimatación. Nuestros resultados concuerdan con Asare *et al.* (2017) quienes realizaron un estudio en el que midieron la influencia del sombreado y la fertilización y encontraron que hubo un efecto positivo expresado en un aumento de la cobertura del dosel (biomasa foliar) dentro de las parcelas sombreadas. Así mismo, otro estudio realizado por Gómez (2002), encontró que el tamaño de la hoja y la longitud de los entrenudos fueron significativamente reducidos bajo la plena exposición solar, esto debido a la elevada transpiración que ocasiona un estrés hídrico al no disponer de riego continuo.

El cuanto a la TCA no se encontraron diferencias estadísticas, sin embargo, los mayores valores a 20, 40 y 61 días se registraron en el tratamiento provisto de sombra al 80 %, así se deduce que es

importante el uso de sombra en el cultivo específicamente en etapa de establecimiento, así lo afirman Cardona y Gutiérrez (2003) durante la fase de crecimiento vegetativo, las plantas requieren niveles bajos de radiación solar (entre 700 a 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-2}$ de fotones), lo cual explica que para los primeros dos años de vida de este cultivo, es fundamental contar con sombrero, después de estos dos años las plantas logran un desarrollo vigoroso de la copa, alcanzando un IAF superior a 2, permitiendo la creación de un microclima interno en el dosel de las plantas (no es necesario el uso de árboles de sombra), favorables para su crecimiento y desarrollo.

La mayor área foliar de los brotes evaluados a los 84 días de iniciado el ensayo se obtuvo con la aplicación de sombra del 80 %, estos resultados concuerdan con Salazar *et al.* (2018) quienes encontraron que los árboles de cacao sometidos a radiación incidente alta presentaron un área foliar específica baja, además Lima (2014) y Zavala *et al.* (2018) menciona que la sombra protege a las plantas jóvenes de la exposición directa de los rayos solares, evitando el daño directo de las hojas por los rayos UV, la caída de hojas y el agotamiento del cultivo, también ayuda a la captura de carbono (Nijmeijer *et al.*, 2019).

Jaimez *et al.* (2008) recomienda que el nivel de sombrero para el cultivo del cacao debe estar entre 50 y 70 % para que las plantas logren mayores tasas fotosintéticas, y asegura que la sombra influye en el tiempo de vida de las hojas; así se ha comprobado que bajo sombra las hojas tienen un tiempo de vida de 450 días, mientras que a plena luz solar viven tan solo 250 días. Esto explica en gran parte el por qué las plantas bajo sombra tienen mayor área foliar.

El incremento de la abscisión foliar reduce notablemente la biomasa foliar, por la desviación de asimilados para el remplazo de las hojas caídas también reduce la disponibilidad de asimilados para el crecimiento de raíces y tallos, los cuales también son atribuidos a la excesiva temperatura foliar y en el incremento de las pérdidas de agua lo que resulta en una pobre absorción de nutrientes y bajas tasas fotosintéticas (Gómez, 2002).

En cuanto al IAF no se encontraron diferencias significativas, sin embargo, el valor más alto se registró en el tratamiento sombreado, con promedio de 0,097, una media relativamente baja comparado con lo reportado en la literatura, no obstante nuestros valores bajos se debieron posiblemente a que las plantas estaban en etapa vegetativa BBCH 22, de un año de edad, mientras

que para plantas en etapa productiva según Leiva-Rojas *et al.* (2019) reportaron que el IAF varía entre 1,5 y 6 dependiendo del genotipo y manejo del cultivo.

Así mismo Cardona y Gutiérrez (2003) mencionan que la interceptación de la luz en los distintos estratos de las plantas está relacionada con el IAF, es decir que a mayor área foliar va haber mayor interceptación de la luz y por consiguiente mayor actividad fotosintética.

Generalmente las plantas jóvenes de cacao muestran tasas crecientes de fotosíntesis neta a medida que la PAR aumenta a valores en el rango de cerca de 400 a 750 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (De Almeida y Valle, 2008), de ahí que, se ha mencionado que valores mayores de PAR causarían fotoinhibición en la planta de cacao. Al respecto, se cree que la tasa fotosintética conviene que sea elevada, pues al existir mayor fotosíntesis existirá por consiguiente un crecimiento más rápido y una mayor producción de fotoasimilados, así afirma Salazar *et al.* (2018) quienes realizaron un estudio en variedades ecuatorianas de cacao clonal y CCN51 sometidos alta luminosidad. Estos clones mostraron incrementos de hasta el 35 % en la tasa fotosintética neta, llegando a 1 000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y, por consiguiente, se registró un aumento en el crecimiento y el rendimiento de las plantas, lo cual podría explicar por qué las plantas testigo mostraron un gran incremento de la altura.

En cuanto a la acidez el suelo según Batista (2009) el rango óptimo de pH para el cultivo de cacao está entre 5,5 a 6,5, mientras que Wood y Lass (1985) sostienen que el cacao es muy sensible a la acidez (esto debido a que los nutrientes tiene poca disponibilidad en pH ácidos), aunque Dostert *et al.* (2011) y Snoeck *et al.* (2016) mencionan que las plantas de cacao toleran un pH de 5,0. Por debajo de estos niveles, se observan grandes limitaciones en la producción, pues estos suelos suelen carecer de calcio y por lo tanto deben ser encalados. En nuestro estudio se encontraron valores de pH con rangos entre 5,0 a 5,82 que es propio de suelos amazónicos, Bravo *et al.* (2017) midieron las propiedades de los suelos cultivados de cacao en la región amazónica de Napo y Pastaza encontrando valores entre 5,11 y 5,94. Por otra parte Barrezueta-unda (2019) encontró valores de pH entre 6,46 y 7,72 en suelos costeros de El Oro.

Los menores valores de pH se encontraron a los 40 días en el tratamiento provisto de fertilización, llegando hasta los 5,0, evidenciándose que los fertilizantes causaron una breve acidificación, para luego estabilizarse a los 84 días, coincidiendo con Huamaní-Yupanqui *et al.* (2012) en cuanto a que el uso de fertilizantes contribuye a fluctuaciones y bajos niveles de pH. Este descenso de pH

muy cercano al rango tolerante pudo ser el causante de estrés a las plantas, limitándose la absorción de nutrientes y como resultado de ello se observaron plantas pequeñas, con poco crecimiento y desarrollo y una limitada área foliar. El pH del suelo es el parámetro que tiene el efecto más significativo en la eficiencia del fertilizante, además algunos ensayos de invernadero han confirmado la reducción de la biomasa y longitud de las raíces en suelos ácidos, como también hay una reducción de la absorción de Ca, Mg, K, Cu, Fe, Mn y Zn (Snoeck *et al.*, 2016; Kongor *et al.*, 2019). Por otra parte González - Gordon *et al.* (2018) menciona que un pH inferior a 5,0 pueden generar problemas de toxicidad de aluminio y altas cantidades de hierro que pueden causar toxicidad o interferir en la absorción de otros nutrientes

A los 40 días hubo un descenso del pH, con valores entre 5,0 a 5,6 este descenso puede deberse a las altas precipitaciones de la localidad y al arrastre de los fertilizantes a través del perfil del suelo, lo que coincide con lo reportado Zapata (2004) y Rosas-Patiño *et al.* (2017) quienes mencionan que el proceso de acidificación del suelo tiene una tendencia natural en regiones tropicales lluviosas, originado por el material parental ácido, por excesiva pluviosidad y aplicaciones constantes de fertilizantes

De manera general durante la investigación se observaron fluctuaciones en el pH del suelo en todos los tratamientos, esto debido a que el suelo es arenoso, permitiendo más aún las variaciones constantes de pH, esto concuerda con Fernández-Lizarazo *et al.* (2016) quienes indicaron que los cambios en el pH del suelo son menores cuando las partículas de suelo son más pequeñas.

Para Bárbaro *et al.* (2005) la conductividad eléctrica (CE), mide la concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo, pues a mayor CE, mayor es la concentración de sales, en un suelo conviene que la CE sea baja. En nuestros resultados en todos los tratamientos se registraron valores de CE inferiores a 1 dS m^{-1} , es decir que el suelo no presentó problemas de sales. Castellanos (2000) menciona que los suelos con CE menores a 1 dS m^{-1} son suelos libres de sales y por tanto no existe restricción para ningún cultivo. De manera general en nuestro estudio se encontraron valores bajos de CE entre 0,181 y 0,729, esto coincide con lo reportado por Morales y Serrano (2019) quienes encontraron valores de conductividad eléctrica de 0,25 a $0,65 \text{ dS m}^{-1}$, en suelos Amazónicos del Puyo, de la misma manera Pérez (2019) quien realizó un estudio en suelos del cantón Milagro registrando valores de CE entre 0,29 y $0,78 \text{ dS m}^{-1}$ mientras que en suelos de El Oro se registraron rangos de CE entre 0,13 y $0,21 \text{ dS m}^{-1}$ (Barrezueta-unda, 2019).

También se pudo evidenciar que los tratamientos provistos de fertilización mostraron valores de CE más elevadas, esto concuerda con Fior *et al.* (2020) quienes encontraron que la CE aumentó gradualmente en plantas fertilizadas, frente a las no fertilizadas, sin embargo no solo la aplicación de fertilizantes influyen en la conductividad eléctrica, estudios realizados por Brito-Vega *et al.* (2018) demuestran que la conductividad eléctrica está influenciada por varias propiedades físico-químicas del suelo, como la textura del suelo, el contenido de materia orgánica, la humedad del suelo, la capacidad de intercambio catiónico, la salinidad, el pH, Ca y Mg.

El comportamiento fisiológico de las plantas estuvo influenciado en mayor medida por el factor sombra, en este sentido el mayor contenido de clorofila A se encontró en plantas provistas del 80 % de sombra, esto concuerda con Encalada-Córdova *et al.* (2016) quien realizó un estudio en café y encontró que el contenido de clorofila A fue mayor en las plantas bajo sombra, en comparación con las expuestas a pleno sol, evidenciándose además, la coloración verde más intensa observada en las hojas de las planta que están bajo sombra. Así también un estudio realizado por Salazar *et al.* (2018) mostró que en plantas sometidas a radiación incidente alta, el contenido de clorofila fue bajo pero con mayor contenido de carotenoides.

Para el contenido de clorofila B y clorofila total, los mayores valores se encontraron en plantas sometidas a sombra y fertilización, demostrándose de esta manera que la sombra influye directamente en el contenido de pigmentos fotosintéticos. Esto lo explica Piña y Arboleda, (2010) quienes mencionan que los valores de clorofila total son regulados por la luz, de modo que en intensidades más elevadas de irradiación las moléculas de clorofila son más expuestas a procesos fotooxidativos y por consiguiente un menor contenido de clorofila (Ardisana *et al.*, 2018).

Tanto la clorofila A como la clorofila B absorben luz, la clorofila A tiene una función única y crucial al convertir la energía de la luz en energía química. Todas las plantas fotosintéticas, algas y cianobacterias contienen clorofila A, mientras que solo las plantas y algas verdes contienen clorofila B, junto con algunos tipos de cianobacterias. La clorofila B funciona como antena receptora de la energía de los fotones que luego transfiere a la clorofila A (Ardisana *et al.*, 2018).

Los valores más bajos de contenido de clorofila se registró en plantas a pleno sol, esto explicaría en gran parte el poco crecimiento vegetativo de las plantas, tales resultados concuerdan con lo reportado por Bertolde *et al.* (2012) y Suárez-Salazar *et al.* (2017) quienes encontraron que, niveles

bajos de clorofila repercuten en la reducción en la capacidad fotosintética de la hoja, debido a que limita el proceso fotoquímico, por tanto, en teoría, es de esperar que una planta con mayor contenido de pigmentos sea capaz de producir mayor rendimiento, lo cual se ha demostrado también en otras especies (Gutiérrez *et al.*, 2005; González, 2009; Barrantes *et al.*, 2018).

En cuanto a densidad estomática la mayor media se registró en las plantas provistas del 80% de sombra, nuestros resultados son contrarios a lo reportado por Jaimez *et al.* (2018) quien realizó un estudio en cacao Nacional cultivado sin sombra en las condiciones climáticas de la costa ecuatoriana, en el cual se demostró valores de conductancia estomática y tasa de asimilación elevados, así también se han realizado estudios en otras especies similares tal es el caso de Encalada-Córdova *et al.* (2016) quienes realizaron un estudio en café y encontraron que las hojas expuestas a pleno sol, presentaron un número mayor de estomas por área foliar, en relación con los niveles de menor luz. Para explicar nuestros resultados nos apoyamos de los trabajos realizados por Torala *et al.* (2010) quienes mencionan que la disminución de la densidad estomática de los árboles incrementaría la resistencia estomática y evitaría el exceso de transpiración, posibilitando una mejor adaptación de los árboles a condiciones de mayor demanda hídrica. Por otra parte Wood y Lass (1985) reportaron que la presencia de árboles de sombra, amortiguan la temperatura, la humedad, la luz y el viento y, por lo tanto, reducen la evapotranspiración y la apertura de estomas en plantas de cacao.

De manera general, las variables fisiológicas se vieron más influenciadas por el factor sombra, aunque nuestros resultados no concuerdan con lo reportado por Salazar *et al.* (2018) quienes mencionan que los árboles de cacao expuestos a radiación incidente alta mostraron un mejor rendimiento fisiológico, debido a la alta nubosidad en la Amazonía colombiana, las plantaciones de cacao en condiciones de escasa sombra maximizaron su uso de carbono. La discordancia es debido a que el autor mencionado evaluó árboles en producción y en nuestras condiciones se evaluó plantas jóvenes, lo que podría diferir en los requerimientos de energía fotónica. Se menciona que las plantas de cacao muestran tasas crecientes de fotosíntesis neta a medida que la PAR aumenta a valores en el rango de cerca 400 a 750 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e incluso hasta 1000 $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, pasados estos valores la planta inhibe la fotosíntesis (De Almeida y Valle, 2008; Jaimez *et al.*, 2018), sin embargo a pleno sol, la tasa fotosintética disminuye con exposiciones superiores al 30 % de la radiación global, en nuestras condiciones donde se llevó a cabo el estudio hace falta medir

la radiación incidente del lugar, puesto puede estar sobrepasando el rango antes mencionado y estar interfiriendo en crecimiento y desarrollo de las plantas.

Existe una fuerte correlación positiva entre el ASTT y la altura de la planta, pues a medida que la planta crece en longitud el diámetro del tallo también aumenta, la planta crece en longitud a medida que hay translocación de nutrientes desde el suelo al tallo, utilizando como medio de transporte el tallo (De Almeida y Valle, 2008), de igual manera la longitud de las brotes se correlaciona positivamente con el número y la longitud de metámeros, un metámero está conformado por un nudo, un entrenudo y una hoja (Wood y Lass, 1985). Por otra parte, se evidencia que el diámetro del tronco se correlaciona con el área foliar, a medida que aumenta el diámetro también aumenta el área foliar, mismos resultados fueron encontrados por Perez-Garcia *et al.* (2015).

6. CONCLUSIONES

- La sombra y la fertilización son factores que influyen de manera independiente en las variables morfológicas, puesto que no se encontró interacciones.
- La fertilización tuvo poca influencia positiva en el crecimiento de variables morfológicas, de esta manera las plantas fertilizadas alcanzaron los menores valores en altura de planta, TCA, TCR, longitud de brotes y área foliar. Además, el análisis de suelo inicial muestra niveles elevados de hierro y manganeso que pudieron influir en el desarrollo de las plantas.
- La sombra influyó de manera positiva en algunas variables morfológicas, así las plantas sombreadas al 80 % alcanzaron la mayor área foliar y la mayor TCA.
- Las variables fisiológicas se vieron influenciadas por el factor sombra, así el mayor contenido de clorofila A se obtuvo en plantas bajo sombra del 80 % alcanzando una media de $48,75 \text{ ml g}^{-1}$, para el contenido de clorofila B y total hubo efecto de la sombra y la fertilización. La densidad estomática se vio influenciada por el factor sombra, de tal manera que la mayor densidad estomática se encontró en plantas provistas de sombra del 80 %, alcanzando una media de $706,61 \text{ estomas mm}^2$.
- El pH y la CE se vieron afectadas por aplicación de fertilizantes, así el pH más bajo se registró en el tratamiento con fertilización (5,0), mientras que para la CE los mayores valores se encontraron en el tratamiento provisto de fertilización, con medias de $0,696 \text{ dS m}^{-1}$, $0,465 \text{ dS m}^{-1}$, $0,729 \text{ dS m}^{-1}$ respectivamente, sin embargo, estos valores están dentro de los rangos tolerables para el crecimiento y desarrollo del cultivo de cacao..

7. RECOMENDACIONES

- A partir de los resultados se recomienda el uso de sombra en las primeras etapas de desarrollo del cultivo, pues la sombra es un factor influyente en las variables fisiológica y el crecimiento y desarrollo vegetativo de las platas, sin embargo, es importante ampliar el tiempo de evaluación de las variables, para tener un mayor efecto de los tratamientos.
- Continuar con la investigación hasta llegar a la etapa reproductiva, para evaluar las variables de rendimiento.
- Medir la PAR (Radiación Fotosintéticamente Activa) incidente del lugar del ensayo y evaluar sus implicaciones agronómicas en el cultivo.
- Evaluar la fenología del cultivo de cacao en relación a la temperatura diaria ambiental, para ello se debe instalar sensores de registro de temperatura diaria
- Hacer análisis nutricionales foliares y bromatológicos para ver la dinámica de distribución y asimilación de nutrientes presentes en las hojas ante la aplicación de los fertilizantes.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Abdulai, I., Vaast, P., Hoffmann, M. P., Asare, R., Jassogne, L., Van Asten, P., Rötter, R. P., & Graefe, S. (2018). Cocoa agroforestry is less resilient to sub-optimal and extreme climate than cocoa in full sun. *Global Change Biology*, *24*(1), 273–286.
- Agudelo-Castañeda, G. A., Cadena-Torres, J., Almanza-Merchán, P. J., & Pinzón-Sandoval, E. H. (2018). Desempeño fisiológico de nueve genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo la sombra de tres especies forestales en Santander, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, *12*(1), 223–232.
- ANECACAO. (2019a). Sector exportador de cacao. Recuperado en: <http://www.anecacao.com/uploads/estadistica/cacao-ecuador-2019.pdf>. Consultado el: 27 de mayo del 2020.
- ANECACAO. (2019b). Tradición e innovación. Quito, Ecuador. Recuperado en: <http://www.anecacao.com/uploads/magazine/anecacao-julio-2019.pdf>. Consultado el: 27 de mayo del 2020
- Ardisana, E. H., García, A. T., Téllez, O. F., Álava, J. Á., Pin, G. S., & Aguilar, R. L. (2018). Contenido de clorofilas totales en doce clones de cacao (*Theobroma cacao* L.). *La Técnica: Revista de Las Agrociencias*. ISSN 2477-8982, *20*(1), 11–18.
- Arvelo, M., González, D., Delgado, T., Maroto, S., & Montoya, P. (2017a). Estado actual sobre la producción, el comercio y cultivo del cacao en América / Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Fundación Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica : IICA. 280 p.
- Arvelo, M., González, D., Maroto, S., Delgado, T., & Montoya, P. (2017b). Manual técnico del cultivo de cacao: Prácticas Latinoamericanas. San José, Costa Rica : IICA. 165 p.
- Asare, R., Asare, R. A., Asante, W. A., Markussen, B., & Rebild, A. (2017). Influences of shading and fertilization on on-farm yields of cocoa in Ghana. *Experimental Agriculture*, *53*(3), 416–431.
- Bárbaro, L. A., Karlanian, M. A., & Mata, D. A. (2005). Importancia del pH y la Conductividad

- Eléctrica en los sustratos para plantas. Instituto de Floricultura CIRN, 3 (1), 1–15.
- Barrantes, K., Ávila, C., Murillo, R., Solís, L., Porras, R., & Herrera, P. (2018). Relación de la clorofila y el nitrógeno foliar de *Gmelina arborea* Roxb . en vivero y en campo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(46), 210–239.
- Barrezueta-unda, S. (2019). Propiedades de algunos suelos cultivados con cacao en la provincia El Oro , Ecuador. *Revista de Biotecnología y Ciencias Agropecuarias*, 14(1), 155–166.
- Barrientos, A., Borys, M., Trejo, C., & López, L. (2003). Índice y densidad estomática foliar en plántulas de tres razas de aguacatero. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(4), 285–290.
- Batista, L. (2009). *Guía Técnica El Cultivo de Cacao*. Santo Domingo, Republica Dominicana. Centro Para El Desarrollo Agropecuario y Forestal CEDAF, 2(1), 250.
- Bertolde, F. Z., Almeida, A. F., Pirovani, C. . P., Gomes, F. . P., Ahnert, D., Baligar, V. C., & Valle, R. R. (2012). Physiological and biochemical responses of *Theobroma cacao* L. genotypes to flooding. *Revista Photosynthetica*, 50(3), 447–457.
- Bravo, C., Ramírez, A., Marín, H., Torres, B., Alemán, R., Torres, R., Navarrete, H., & Changoluisa, D. (2017). Factores asociados a la fertilidad del suelo en diferentes usos de la tierra de la Región Amazónica Ecuatoriana. *Revista Electronica de Veterinaria*, 18(11), 1–16.
- Brito-Vega, H., Salaya-Domínguez, J. M., Gómez-Méndez, E., Gómez-Vázquez, A., & Antele-Gómez, J. B. (2018). Physico-chemical properties of soil and pods (*Theobroma cacao* L.) in cocoa agroforestry systems. *Journal of Agronomy*, 17(1), 48–55.
- Cardona, B., & Gutiérrez, M. (2003). Un Acercamiento a la Ecofisiología del Cacao. *Actualidad y Divulgación Científica*, 6 (1), 64–71.
- Castellanos, J. Z. (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola, Segunda edición. México, Intagri. 168 p.
- Cimate-data.org. (2020). Clima de Yantzaza. Recuperado en: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-zamora-chinchipe/yantzaza-25493/>. Consultado el: 28 de junio del 2020.
- Cuenca-Cuenca, E. W., Puentes-Páramo, Y. J., & Menjivar-Flores, J. C. (2019). Efficient use of

- nutrients in fine aroma cacao in the province of Los Ríos-Ecuador. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 72(3), 8963–8970.
- De Almeida, A. A., & Valle, R. (2008). Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 425–448.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M., & Robledo, C. InfoStat versión 2018. Centro de Transferencia InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Dostert, N., Roque, J., Cano, A., Torre, M., & Weigend, M. (2011). Hoja botánica: Cacao. Primera edición. Lima, Perú: Giacomotti Comunicación Gráfica S.A.C. 19 p.
- El telégrafo. (2018). Productores de Zamora alternan sus cultivos tradicionales con cacao. Recuperado en: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/productores-cultivos-cacao-zamorachinchipe>. Consultado el: 29 de mayo del 2020
- Encalada-Córdoba, M., Soto-Carreño, F., Morales-Guevara, D., & Álvarez-Bello, I. (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.
- ESPAC. (2018). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. Recuperado en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2018/.pdf. Consultado el: 29 de mayo del 2020.
- Estrada, M., Romero, X., & Moreno, J. (2011). Guía técnica del cultivo de cacao manejado con técnicas agroecológicas. San Salvador, El Salvador, CATIE. 22 p.
- FAO. (2016). Liberación de clones de cacao de alto rendimiento EETP 800 y EETP 801. Recuperado en: <http://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/449707/>. Consultado el: 29 de mayo del 2020.
- FAOSTAT. (2020). Producción/rendimiento de cacao en Grano en el mundo 2019. Recuperado en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>. Consultado el 30 de mayo del 2020.
- Fernández Lizarazo, J. C., Bohorquez Santana, W., & Rodríguez Villate, A. (2016). Dinámica nutricional de cacao bajo diferentes tratamientos de fertilización con N, P y K en vivero.

- Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 10(2), 367–380.
- 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.
- Furcal, P. (2017). Extracción de nutrientes por los frutos de cacao en dos localidades en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 113.
- GADPZCH. (2019). Continúa apoyo para el sector cacaotero de la provincia. Recuperado en: <http://zamora-chinchipec.gov.ec/tag/cacao/>. Consultado el: 30 de mayo del 2020.
- Gómez, A. (2002). Efecto de diferentes intensidades de luz sobre el intercambio gaseoso y desarrollo del cacao criollo Guasare. Postgrado de ecología Tropical. San Juan, Venezuela: Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes. 113p.
- Gomez, R. A., Garcia, R. B., Tong, F., & Gonzalez, C. H. (2014). Paquete tecnológico del cultivo del cacao fino de aroma. Recuperado en: https://issuu.com/devidaperu/docs/paquete_tecnologico_cultivo_cacao. Consultado el: 10 de enero del 2021.
- González, Á. (2009). Aplicación del medidor portátil de clorofila en programas de mejora de trigo y cebada. *Agroecología*, 4(0), 111–116.
- González Gordon, R. A., Alvares Albanes, E. Y., & Castañeda Sánchez, D. A. (2018). Evaluación de la calidad química del suelo en agroecosistemas cacaoteros de la subregión del Nordeste y Urabá Antioqueño. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 5(1), 41–52.
- Guerra, V. (2013). ¿Cuándo los nutrientes esenciales se vuelven tóxicos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Recuperado en: <https://inta.gov.ar/noticias/cuando-los-nutrientes-esenciales-se-vuelven-toxicos>. Consultado el: 16 de febrero del 2021.
- Gutiérrez, M., Reynolds, M. P., Escalante, J. A., & Larqué, A. (2005). Algunas consideraciones en la relación entre fotosíntesis y el rendimiento de grano en trigo. *Ciencia Ergo Sum*, 12(2), 149–154.
- Huamaní-Yupanqui, H. A., Huauya-Rojas, M. Á., Mansilla-Minaya, L. G., Florida-Rofner, N., & Neira-Trujillo, G. M. (2012). Presencia de metales pesados en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) orgánico. *Acta Agronomica*, 61(4), 339–344.

- INIAP. (2018). *INIAP - EETP-800 e INIAP - EETP-801*. Nuevos clones de cacao fino y de aroma con alto rendimiento. Quevedo Ecuador, Estación experimental tropical Pichilingue. 2 p.
- Jaimez, R. E., Amores Puyutaxi, F., Vasco, A., Loor, R. G., Tarqui, O., Quijano, G., Jimenez, J. C., & Tezara, W. (2018a). Photosynthetic response to low and high light of cacao growing without shade in an area of low evaporative demand. *Acta Biológica Colombiana*, 23(1), 95–103.
- Jaimez, R. E., Amores Puyutaxi, F., Vasco, A., Loor, R. G., Tarqui, O., Quijano, G., Jimenez, J. C., & Tezara, W. (2018b). Respuestas fotosintéticas de cacao cultivado sin sombra a alta y baja radiación en áreas de baja demanda evaporativa. *Acta Biologica Colombiana*, 23(1), 95–103.
- Jaimez, R., Tezara, W., Coronel, I., & Urich, R. (2008). Ecofisiología del cacao (*Theobroma cacao*): su manejo en el sistema agroforestal. Sugerencias para su mejoramiento en Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 52(2), 253–258.
- Johnson, J., Bonilla, J., & Agüero, L. (2008). *Manual De Manejo y Produccion Del Cacaotero*. León, Nicaragua. 40 p.
- Kongor, J. E., Boeckx, P., Vermeir, P., Van de Walle, D., Baert, G., Afoakwa, E. O., & Dewettinck, K. (2019). Assessment of soil fertility and quality for improved cocoa production in six cocoa growing regions in Ghana. *Agroforestry Systems*, 93(4), 1455–1467.
- Leiva-Rojas, E. I., Gutiérrez-Brito, E. E., Pardo-Macea, C. J., & Ramírez-Pisco, R. (2019). Comportamiento vegetativo y reproductivo del cacao (*Theobroma cacao* L.) por efecto de la poda. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(2), 137–146.
- Leiva Rojas, E. I. (2013). Aspectos para la nutrición del cacao *Theobroma cacao* L. Biblioteca Digital. Repositorio Institucional UN, 53(9), 1689–1699.
- Lima, L. (2014). *Guía Técnica: Cultivo de cacao bajo sombra de maderables o frutales*. Honduras, FIHA. 20 p.
- Loor-Solórzano, R. G., Amores-Puyutaxi, F. M., Vasco-Medina, S. A., Quiroz-Vera, J. G., Casanova-Mendoza, T. de J., Garzón-Catota, A. I., Sotomayor-Cantos, I. A., Jiménez-Barragán, J. C., Tarqui-Freire, O. M., Rodríguez-Zamora, G. A., Quijano-Rivadeneira, G. C.,

- Plaza-Avellán, L. F., Guerrero-Castillo, H. E., & Zambrano-Flores, F. G. (2019). INIAP-EETP 800 Aroma Pichilingue, nueva variedad Ecuatoriana de cacao fino de alto rendimiento. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(2), 187–189.
- Mackinney, G. (1941). Absorption of Light by Chlorophyll. *Journal Biology Chemistry*, 140, 315–323.
- Morales Intriago, F. L., Carrillo Zenteno, M. D., Ferreira Neto, J. A., Peña Galeas, M. M., Briones Caicedo, W. R., & Albán Moyano, M. N. (2018). Cadena de comercialización del cacao nacional en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 11(1), 58–64.
- Morales, J. F., & Serrano, V. C. (2019). Cuantificación del servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono en el suelo de los ecosistemas bosque siempre-verde de tierras bajas, bosque siempre-verde de pie montano y bosque siempre-verde andino montano bajo de la Provincia de Napo. Tesis Ingeniero Ambiental. Quito, Ecuador. Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables. Universidad Politécnica Salesiana de Quito. 176 p.
- Niemenak, N., Cilas, C., Rohsius, C., Bleiholder, H., Meier, U., & Lieberei, R. (2009). Phenological growth stages of cacao plants (*Theobroma* sp.): Codification and description according to the BBCH scale. *Annals of Applied Biology*, 156(1), 13–24.
- Nijmeijer, A., Lauri, P. É., Harmand, J. M., & Saj, S. (2019). Carbon dynamics in cocoa agroforestry systems in Central Cameroon: afforestation of savannah as a sequestration opportunity. *Agroforestry Systems*, 93(3), 851–868.
- Perez-Garcia, G., Chimborazo-Sarabia, C., & Freile-Almeida, J. (2015). Caracterización in situ de la variabilidad morfológica del cacao. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 4(2), 146–165.
- Pérez, A. (2019). Riesgo de Sodicidad en los Suelos de Cantón Milagro, Guayas- Ecuador en Época de Estiaje. *Revista Politécnica*, 42(2), 53–61.
- Piña, M., & Arbolrda, M. (2010). Efecto de dos ambientes lumínicos en el crecimiento inicial y calidad de plantas de *Crescentia cujete*. *Bioagro*, 22(1), 61–66.
- Puentes-Páramo, Y., Menjivar-Flores, J., & Aranzazu-Hernández, F. (2014). Eficiencias en el uso de nitrógeno, fósforo y potasio en clones de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Bioagro*, 26(2), 99–

- Quintana, M. D., & Aguilar, J. V. (2018). Denominación de origen de cacao ecuatoriano: Un aporte de marketing global. *Research Journal*, 3(10.1), 68–76.
- Rodes, G., & Collazo, O. (2006). *Manual de prácticas de fotosíntesis*. Primera ed. México. Universidad Autónoma de Mexico. 7 p
- Rosas-Patiño, G., Puentes-Páramo, Y. J., & Menjivar-Flores, J. C. (2017). Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(3), 529–541.
- Salazar, J. C., Melgarejo, L. M., Casanoves, F., Di Rienzo, J. A., DaMatta, F. M., & Armas, C. (2018). Photosynthesis limitations in cacao leaves under different agroforestry systems in the Colombian Amazon. *PLoS ONE*, 13(11), 1–13.
- Sánchez-Mora, F. D., Garcés Fiallos, F. R., Vásconez Montúfar, G. H., Vera Chang, J. F., Zambrano Montufar, J., & Ramos Remache, R. (2014). Productividad de clones cacao tipo nacional en una zona de bosque húmedo tropical de la provincia de los Ríos, Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 7(1), 33–41.
- Snoeck, D., Koko, L., Joffre, J., Bastide, P., & Jagoret, P. (2016). *Cacao Nutrition and Fertilization*. Springer International Publishing, 155–202.
- Suárez-Salazar, J., Duran-Bautista, E., Rojas-Castillo, A., & Ortiz-Cifuentes, N. (2017). Photosynthetic pigments and stomatal conductance in ecotypes of copoazu (*Theobroma grandiflorum* Willd.Ex. Spreng K. Schum.). *Revista Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 199–206.
- Tezara, W., De Almeida, J., Valencia, E., Cortes, J. L., & Bolaños, M. J. (2015). Actividad fotoquímica de clones élite de cacao (*Theobroma cacao*) Ecuatoriano en el norte de la provincia de Esmeraldas. *Investigación y Saberes*, 3(1), 37–52.
- Torala, M., Manríquez, A., Navarro-Cerrillo, R., Tersí, D., & Naulin, P. (2010). Características de los estomas, densidad e índice estomático en secuoya (*Sequoia sempervirens*) y su variación en diferentes plantaciones de Chile. *Bosque*, 31(2), 157–164.

- van Vliet, J. A., & Giller, K. E. (2017). Mineral nutrition of cocoa: a Review. *Advances in Agronomy*, 141, 185–270. Academy press.
- van Vliet, J., Slingerland, M., & Guiller, K. (2015). Mineral nutrition of cacao: a review. In Wageningen (Ed.), *wageningen University and Research Centre* (Issue July).
- Vanhove, W., Vanhoudt, N., & Van Damme, P. (2016). Effect of shade tree planting and soil management on rehabilitation success of a 22-year-old degraded cocoa (*Theobroma cacao* L.) plantation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 219, 14–25.
- Vera-Vélez, R., Grijalva, J., & Cota-Sánchez, J. H. (2019). Cocoa agroforestry and tree diversity in relation to past land use in the Northern Ecuadorian Amazon. *New Forests*, 50(6), 891–910.
- Wood, G., & Lass, R. (1985). *Environment In Cocoa*. In review. Fourth edition. ISBN 0-632-06398. 65 p.
- Zambrano M. (2020). Respuestas fisiológicas y morfológicas de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN 51 a la fertilización con diferentes fuentes de nitrógeno. Tesis Ingeniero agrónomo, Loja, Ecuador: Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja. 72p.
- Zapata, R. (2004). *Química de la acidez del suelo*. Medeyin, Colombia. Universidad nacional de Colombia. 10 p.
- Zavala, W., Merino, E., & Peláez, P. (2018). Influence of three agroforestry systems of cocoa cultivation on carbon capture and storage. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 493–501.

9. ANEXOS

Anexo 1. Evidencias fotográficas

Aplicación de los tratamientos y medición de variables morfológicas



Figura 21. Estructura con malla sarán al 80% de sombra en plantas de cacao



Figura 22. Aplicación de fertilizantes, en forma de corona en cacao clon EETP 800



Figura 23. Identificación y etiquetado de brotes



Figura 24. Medición de la longitud de los brotes etiquetados previamente

Medición de variables fisiológicas

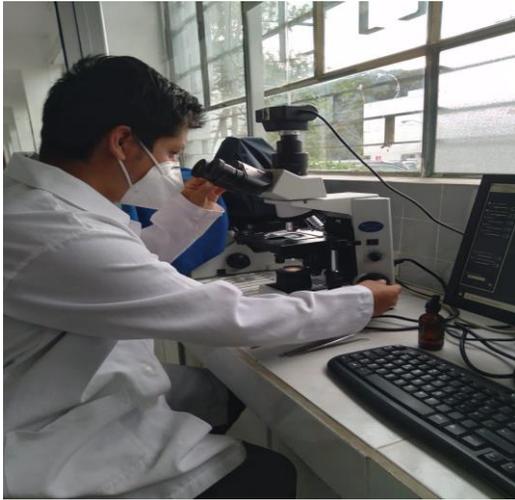


Figura 25. Observación y cuantificación de estomas mediante el método de la impronta

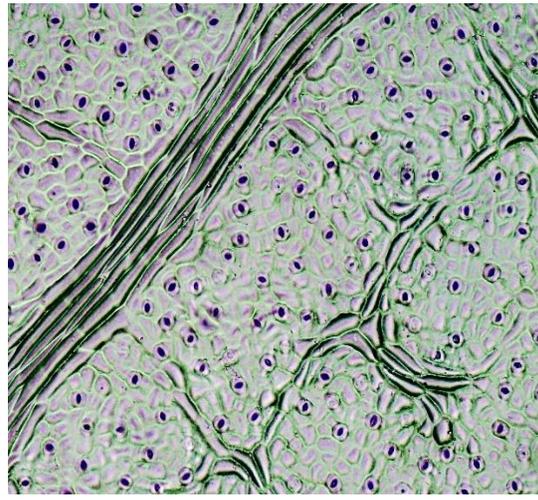


Figura 26. Visión panorámica de las estomas en hojas de cacao clon EETP 800 (aumento 10X)



Figura 27. Fotografía de hoja para determinación de área foliar mediante Photoshop



Figura 28. Hojas de cacao en diferentes estados fenológicos para la determinación del área foliar

Anexo 2. Análisis de suelo previo al establecimiento del cultivo de cacao clon EETP 800 en la estación experimental El Padmi.

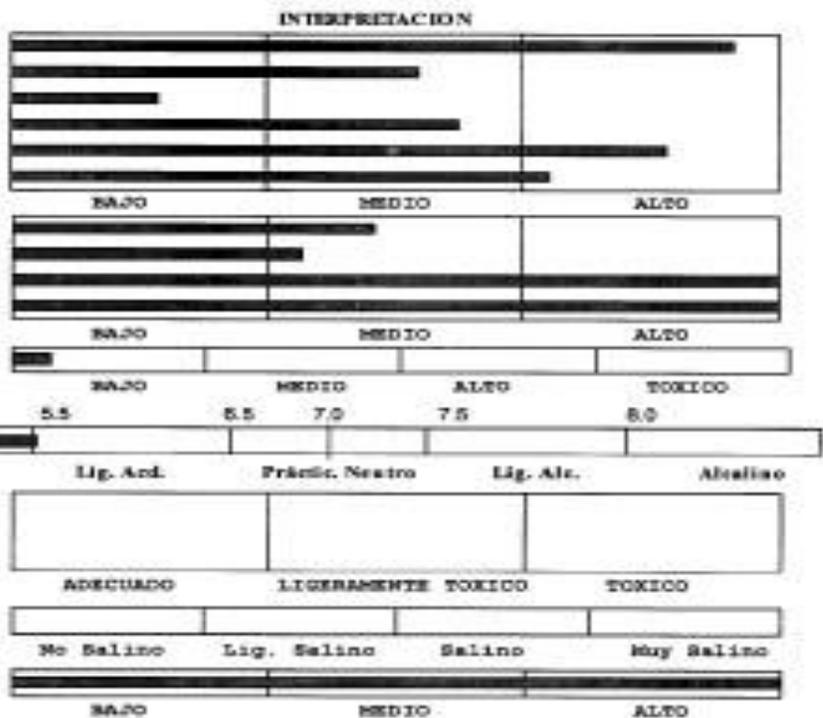
RPT-0022 29/01/20

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

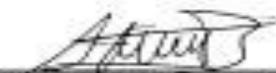
REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

<p style="text-align: center;">DATOS DEL PROPIETARIO</p> Nombre : Paola Daniela Godoy Dirección : Loja Ciudad : Teléfono : 0991255042 Fax :	<p style="text-align: center;">DATOS DE LA PROPIEDAD</p> Nombre : Universidad Técnica De Loja Provincia : Loja Cantón : Parroquia : Ubicación :
<p style="text-align: center;">DATOS DEL LOTE</p> Cultivo Actual : Cacao Cultivo Anterior : Descanso Fertilización Ant. : Superficie : Identificación : Muestra De Suelo	<p style="text-align: center;">PARA USO DEL LABORATORIO</p> N° Reporte : 48.475 N° Muestra Lab. : 20-0498 Fecha de Muestras : 10/01/2020 Fecha de Ingreso : 17/01/2020 Fecha de Salida : 29/01/2020

Nutriente	Valor	Unidad
N	73.00	ppm
P	16.00	ppm
S	5.80	ppm
K	0.35	meq/100 ml
Ca	12.40	meq/100 ml
Mg	2.20	meq/100 ml
Zn	4.10	ppm
Cu	1.40	ppm
Fe	254.00	ppm
Mn	30.50	ppm
B	0.10	ppm



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


 RESPONSABLE LABORATORIO


 LABORATORISTA

Anexo 3. Análisis de la Capacidad de Intercambio catiónico (CIC) previo al establecimiento del cultivo de cacao clon EETP 800 en la estación experimental El Padmi.

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

REPORTE DE ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO

<p style="text-align: center;">DATOS DEL PROPIETARIO</p> <p>Nombre : Paola Daniela Godoy Dirección : Loja Ciudad : Teléfono : 0991255042 Fax :</p>	<p style="text-align: center;">DATOS DE LA PROPIEDAD</p> <p>Nombre : Universidad Estatal De Loja Provincia : Loja Cantón : Parroquia : Ubicación :</p>	<p style="text-align: center;">PARA USO DEL LABORATORIO</p> <p>No. Muestra Lab. : 20-0498 Fecha de Muestreo : 10/01/2020 Fecha de Ingreso : 17/01/2020 Fecha de Salida : 28/01/2020</p>
---	---	---

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

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


 RESPONSABLE DEL LABORATORIO


 DPTO. MANEJO DE SUELOS Y AGUAS
 ESTACIÓN EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
 Panamericana Sur Km. 1
 Quito-Loreto
 Telefón 2890-894


 LABORATORISTA

Anexo 4. Cálculos de dosis de corrección de nutrientes

En una hectárea con un marco de plantación de 3,5 x 4,0 m se tienen una densidad de 714 plantas de cacao. De acuerdo al análisis de suelo y a los requerimientos nutricionales de las plantas (Tabla), los elementos que necesitan ser corregidos son: azufre (S) y boro (B).

Déficit = Requerimiento- resultado del análisis de suelo

Déficit de S = 10 ppm – 5,8 ppm = 4,2 ppm

Déficit de B = 0,5 ppm – 0,1 ppm = 0,4 ppm

$$Dosis\ de\ corrección = \frac{Déficit * prof * Da * 10}{eficiencia}$$

$$Dosis\ de\ Corrección\ de\ S = \frac{4,2 * 0,2 * 1,3 * 10}{0,26}$$

Dosis de Corrección de S = 42 kg Ha⁻¹

714 plantas 42 kg Ha⁻¹

1 planta x=? **X= 0,058 kg de S por planta**

$$Dosis\ de\ Corrección\ de\ B = \frac{0,4 * 0,2 * 1,3 * 10}{0,26}$$

Dosis de Corrección de S = 4 kg Ha⁻¹

714 plantas 4 kg Ha⁻¹

1 planta x=? **X= 0,0056 de B kg por planta**

La dosis de corrección se aplicó de forma fraccionada en 4 aplicaciones

Anexo 5. Cálculos de cantidad de elementos requeridos por planta

Nitrógeno (N)

714 plantas	136 kg Ha ⁻¹	
1 planta	x=?	X= 0,19 kg de N por planta

Fósforo (F)

714 plantas	14 kg Ha ⁻¹	
1 planta	x=?	X= 0,019 kg de F por planta

Potasio (K)

714 plantas	156 kg Ha ⁻¹	
1 planta	x=?	X= 0,22 kg de K por planta

Magnesio (Mg)

714 plantas	47 kg Ha ⁻¹	
1 planta	x=?	X= 0,065 kg de Mg por planta

Calcio (Ca)

714 plantas	113 kg Ha ⁻¹	
1 planta	x=?	X= 0,16 kg de Ca por planta

Anexo 6. Cálculos de la dosis de fertilizantes a aplicar

Para el fósforo

- **DAP- 18-46-0 (18 % N; 46 % P)**

100 kg de DAP 46 kg de P

X=?

14 kg de P

X= 30,43 Kg ha⁻¹ de DAP

$30,43 / 714 = 0,042$ kg de DAP por planta

Para el calcio

- **Nitrato de calcio (15 % N; 26 % Ca)**

100 kg de Ca(NO₃)₂ 26 kg de Ca

X=?

113 kg de Ca

X= 434,6 Kg ha⁻¹ de Ca(NO₃)₂

$434,6 / 714 = 0,608$ Ca(NO₃)₂ por planta

Aporte de nitrógeno

100 kg de Ca(NO₃)₂ 15 kg de N

434,6 kg de Ca(NO₃)₂

x =?

X= 65,19 kg de N

136 kg de N – 65,19 kg de N = 70,81 kg de N Faltan.

Para el nitrógeno

- **Nitrato de amonio (33 % N)**

100 kg de NH₄NO₃ 33 kg de N

X=?

70,81 kg N

X= 214,57 Kg ha⁻¹ de NH₄NO₃

$214,57 / 714 = 0,30$ kg de NH₄NO₃ por planta

Para el Magnesio y azufre

- **Sulfato de magnesio (16 % Mg; 13 % S)**

100 kg de MgSO₄ 16 kg de Mg

X=?

47 kg de Mg

X= 293,75 kg ha⁻¹ MgSO₄

$293,75 / 714 = 0,41$ kg de MgSO₄ por planta

Aporte de azufre

100 kg de MgSO₄ 13 kg de S

293,75 kg de MgSO₄ x =? X= 38,18 kg de S

42 kg de S – 38,18 kg de S = 3,82 kg de S Faltan.

Se necesita 302 kg ha⁻¹ MgSO₄ para suplir con las necesidades S y Mg.

Con una dosis de 0,44 kg de MgSO₄ por planta.

Para el potasio

- **Muriato de potasio (60 % K)**

100 kg de Muriato 60 kg de K

X=? 156 kg de K X= 260 kg ha⁻¹ de Muriato

260 / 714 = 0,36 kg de Muriato por planta

Para el boro

- **Ácido bórico (17,5 % B)**

100 kg de ácido bórico 17,5 kg de B

¿X=? 4 kg de B X= 22,86 kg ha⁻¹ de ácido bórico

22, 86 / 714 = 0,031 kg de ácido bórico por planta

Anexo 7. Tipo de fertilizantes y cantidad a aplicar por planta y por tratamiento

Tabla 13. Cantidad de fertilizantes aplicados en los dos niveles de fertilización en cacao clon EETP 800.

Fertilizante	Kg ha ⁻¹		Dosis (kg) por planta	Dosis (g) por planta
	Nivel 1	Nivel 2		
18-46-0	0	30,43	0,042	42
Nitrato de Calcio	0	434,6	0,60	600
Nitrato de Amonio	0	214,57	0,30	300
Muriato de Potasio	0	260	0,36	360
Sulfato de Magnesio	293,75	293,75	0,44	440
Ácido Bórico	22,86	22,86	0,031	31

Anexo 8. Análisis de Varianzas realizados

Tabla 14. Análisis de varianza para el pH.

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.80	3	0.27	1.98	0.1272
F. Sombra (%)	0.10	1	0.10	0.75	0.3897
F. Fertilización (%)	0.69	1	0.69	5.16	0.0267
F. Sombra (%)*F. Fertiliza..	2.0E-03	1	2.0E-03	0.02	0.9027
Error	8.06	60	0.13		
Total	8.85	63			

Tabla 15. Análisis e varianza para la CE.

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	582959.83	3	194319.94	2.56	0.0635
F. Sombra (%)	57798.17	1	57798.17	0.76	0.3865
F. Fertilización (%)	497924.28	1	497924.28	6.55	0.0130
F. Sombra (%)*F. Fertiliza..	27237.38	1	27237.38	0.36	0.5516
Error	4558102.47	60	75968.37		
Total	5141062.30	63			

Tabla 16. Análisis de varianza para la densidad estomática.

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	128410.79	3	42803.60	6.69	0.0142
F. Sombra (%)	76064.17	1	76064.17	11.89	0.0087
F. Fertilización (%)	27850.93	1	27850.93	4.35	0.0704
F. Sombra (%)*F. Fertiliza..	24495.69	1	24495.69	3.83	0.0861
Error	51171.82	8	6396.48		
Total	179582.61	11			

Tabla 17. Análisis de varianza para el contenido de clorofila.

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4901.87	3	1633.96	7.42	0.0107
F. Sombra (%)	2757.30	1	2757.30	12.53	0.0076
F. Fertilización (%)	865.30	1	865.30	3.93	0.0827
F. Sombra (%)*F. Fertiliza..	1279.27	1	1279.27	5.81	0.0425
Error	1761.14	8	220.14		
Total	6663.01	11			