



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agronómica

**“Rasgos fisiológicos y productivos del cacao clon EETP 800 en respuesta al
sombreo y encalado”**

Trabajo de Titulación, previo
a la obtención del título de
Ingeniero Agrónomo

AUTOR:

Andersson Eduardo Romero Castillo

DIRECTOR:

Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute, PhD.

Loja – Ecuador

2024

Certificación

Loja, 29 de enero de 2024

Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

C E R T I F I C O:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Rasgos fisiológicos y productivos del cacao clon EETP 800 en respuesta al sombreado y encalado**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Agrónomo**, de la autoría de la estudiante **Andersson Eduardo Romero Castillo**, con **cédula de identidad Nro. 1104690746**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



firmado electrónicamente por:
SANTIAGO CRISTOBAL
VASQUEZ MATUTE

Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Andersson Eduardo Romero Castillo**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional - Biblioteca Virtual.

Firma:



Cedula de identidad: 1104690746

Fecha: 05 de enero de 2024

Correo electrónico: andersson.romero@unl.edu.ec

Celular: 0988198590

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción o total y/o publicación electrónica del texto completo del Trabajo de Titulación.

Yo, **Andersson Eduardo Romero Castillo** declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Rasgos fisiológicos y productivos del cacao clon EETP 800 en respuesta al sombreado y encalado**, como requisito para optar el título de **Ingeniero Agrónomo** autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

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

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los cinco días del mes de febrero del dos mil veinticuatro.

Firma:



Autor: Andersson Eduardo Romero Castillo

Cédula: 1104690746

Dirección: Loja, Ciudadela UNE Etapa Uno

Correo electrónico: andersson.romero@unl.edu.ec

Teléfono: 0988198590

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD.

Dedicatoria

Mi Trabajo de Titulación va dedicado a mis padres Víctor Romero y Lourdes Castillo quienes supieron guiarme con su ejemplo y valores, así como también, brindarme su apoyo durante mi formación académica. A mi pareja y mis hijos, quienes me animaron a culminar con éxito el presente trabajo de titulación y también a mi Dios y mi Churonita del Cisne por guiar mi camino.

Andersson Eduardo Romero Castillo

Agradecimiento

A mi familia, padres y hermano por el apoyo brindado durante mi formación profesional.

Para Angie, quien estuvo presente en cada momento de esta etapa.

Agradezco a la Universidad Nacional de Loja, a la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales y a la Carrera de Ingeniería Agronómica por haberme permitido formar parte de tan prestigiosa Institución; a los docentes de la carrera de Agronomía que brindaron sus sabios conocimientos los cuales fueron muy valiosos en mi formación como profesional.

A mi director de tesis Ing. Santiago Vásquez PhD. Por su apoyo y revisión de mi Trabajo de Titulación.

Finalmente agradezco a mis compañeros de salón y a todas las personas quienes me brindaron sus consejos para la realización de este trabajo.

Andersson Eduardo Romero Castillo

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría.....	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de figuras:	x
Índice de anexos:	xi
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstrac	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1. Generalidades del cultivo.....	6
4.2. Clon EETP-800	7
4.3. Morfología del cacao.....	7
4.4. Condiciones Edafoclimáticas	8
4.5. Sombra	8
4.5.1. Sombra provisional o temporal.....	8
4.5.2. Sombra intermedia.....	9
4.5.3. Sombra permanente	9
4.5.4. Luminosidad	9

4.6. Suelos	9
4.7. Encalado	9
5. Materiales y métodos.....	11
5.1. Ubicación del área de estudio y diseño experimental.....	11
5.2. Metodología para el primer objetivo específico: Determinar la influencia de la sombra y el encalado sobre parámetros fisiológicos del cacao clon EETP-800.....	12
5.2.1. Diámetro de copa.....	12
5.2.2. Índice del área foliar	12
5.2.3. Sección transversal del tronco	12
5.2.4. Estimación de la concentración de clorofila foliar	13
5.2.5. pH y Conductividad eléctrica del suelo.....	13
5.3. Metodología para el segundo objetivo específico: Identificar el efecto de la sombra y el encalado sobre los parámetros productivos del cacao clon EETP-800.....	13
5.3.1. Tamaño de los frutos de cacao	13
5.3.2. Rendimiento estimado	13
5.3.3. Análisis bromatológicos	14
5.4. Análisis Estadístico.....	15
6. Resultados	16
6.1. Parámetros fisiológicos	16
6.1.1. Diámetro de copa.....	16
6.1.2. Índice del área foliar	16
6.1.3. Sección transversal del tronco	17
6.1.4. Estimación de la concentración de clorofila foliar (SPAD)	18
6.1.5. pH y Conductividad eléctrica del suelo.....	18

6.2. Parámetros productivos	20
6.2.1. Tamaño de los frutos de cacao	20
6.2.2. Rendimiento estimado	20
6.2.3. Análisis bromatológicos	21
7. Discusión	27
8. Conclusiones	31
9. Recomendaciones	32
10. Bibliografía	33
11. Anexos	37

Índice de figuras:

Figura 1. Diseño experimental del área de estudio.....	11
Figura 2. Incremento del diámetro de copa en las plantas de cacao clon EETP-800 desde el día 0 hasta los 111 días de haber aplicado el tratamiento.	16
Figura 3. Índice del área foliar de las plantas de cacao clon EETP-800 al final del experimento.	17
Figura 4. Incremento de la sección transversal del tronco de las plantas de cacao clon EETP-800.....	17
Figura 5. Concentración de clorofila con Spad de las hojas de cacao clon EETP-800.	18
Figura 6. Evolución del pH en el suelo desde el día 0 hasta los 44 días después de haber aplicado el tratamiento del encalado en las plantas de cacao clon EETP-800.	19
Figura 7. Evolución de la conductividad eléctrica (CE) del suelo desde el día 0 hasta los 44 días después de haber aplicado el tratamiento de encalado en las plantas de cacao clon EETP-800.....	19
Figura 8. D Dimensiones de los frutos de cacao clon EETP-800.....	20
Figura 9. Rendimiento estimado en peso fresco de los frutos de cacao clon EETP-800.	21
Figura 10. Registro de Grados brix del mucílago de los frutos de cacao clon EETP-800.	22
Figura 11. Registro de Acidez titulable del mucílago de los frutos de cacao clon EETP-800.	23
Figura 12. Porcentajes de Humedad Inicial y Final de las almendras de frutos de cacao clon EETP-800.....	24
Figura 13. Contenidos de grasa de las almendras de los frutos de cacao clon EETP-800.	24
Figura 14. Contenidos de Proteína de las almendras de los frutos de cacao clon EETP-800.....	25
Figura 15. Contenido de Ceniza de las almendras de los frutos de cacao clon EETP-800.....	26

Índice de anexos:

Anexo 1. Evidencias fotográficas	37
Anexo 2. Evidencias del análisis InfoStat	39
Anexo 3. Análisis general de suelo.....	40
Anexo 4. Certificado de traducción Abstract	41

1. Título

Rasgos fisiológicos y productivos del cacao clon EETP 800 en respuesta al sombreado y encalado

2. Resumen

El cacao (*Teobroma cacao* L.) es uno de los principales cultivos del Ecuador, siendo la Amazonía una de las regiones que se caracteriza en este cultivo. La presencia de acidez ($\text{pH} < 5,5$) en los suelos de esta región está limitando la disponibilidad y absorción de nutrientes en las plantaciones de cacao. Es por eso que, para el presente trabajo se propuso evaluar el efecto de la sombra y el encalado sobre variables fisiológicas y productivas en cacao clon EETP-800. El ensayo se realizó en la Estación Experimental El Padmi, perteneciente a la Universidad Nacional de Loja, bajo un diseño completamente al azar (DCA) con un arreglo bifactorial en plantas establecidas de cacao clon EETP-800 de 2 años de edad, con un total de cuatro tratamientos compuestos por los distintos niveles de encalado y sombreo, y cuatro repeticiones de las variables fisiológicas y productivas evaluadas, siendo el tratamiento sombra el mejor. El uso de sombra y encalado aplicados en el estudio, no mostraron efectos significativos en los parámetros fisiológicos evaluados, como el diámetro de copa, índice del área foliar, sección transversal del tronco, pH y conductividad eléctrica del suelo; sin embargo, la concentración de clorofila, si registró diferencias significativas entre los tratamientos encalado (T2) y sombra (T3). En los parámetros productivos (dimensiones de los frutos, rendimiento, grados brix, acidez, humedad, grasa, proteína y cenizas) tampoco se registraron efectos significativos de la sombra y el encalado, lo que se alude que el clon EETP-800 tiene buena adaptabilidad en dicha zona.

Palabras clave: *Teobroma cacao*, encalado, sombra, rendimiento.

Abstrac

Cocoa (*Teobroma cacao* L.) is one of the main crops in Ecuador, being the Amazon one of the regions that is characterized in this crop. The presence of acidity ($\text{pH} < 5.5$) in the soils of this region is limiting the availability and absorption of nutrients in cocoa plantations. This is the reason why, for the present work, it was proposed to evaluate the effect of shade and liming on physiological and productive variables in cocoa clone EETP-800. The experimental trial was conducted at the El Padmi Experimental Station, part of the National University of Loja, under a completely randomized design (CRD) with a bifactorial arrangement in established plants of cocoa clone EETP-800 of 2 years of age, with a total of four treatments composed of different levels of liming and shading, and four replicates of the physiological and productive variables evaluated, with the shade treatment being the best. The use of shade and liming applied in the study did not show significant effects on the physiological parameters evaluated, such as crown diameter, leaf area index, trunk cross section, pH and soil electrical conductivity; however, chlorophyll concentration did show significant differences between the limed (T2) and shaded (T3) treatments. The productive parameters (fruit size, yield, brix, acidity, moisture, fat, protein and ash) did not show significant effects of shade and liming, which suggests that clone EETP-800 has good adaptability in this zone.

Key words: *Teobroma cacao*, liming, shade, yield.

3. Introducción

Theobroma cacao L. (cacao) es un cultivo perenne de gran importancia económica, domesticado en Centro América a partir de especies silvestres (Cuatrecasas, 1964; Motamayor *et al.*, 2002). Este cultivo es producido y comercializado en más de 50 países de las regiones tropicales de Centro y Sur América, Asia y África (Wickramasuriya & Dunwell, 2018), siendo el sustento económico de más de 40 millones de personas en todo el mundo (Beg *et al.*, 2017).

Según Mihai *et al.* (2022) Ecuador es el país que lidera la exportación de cacao fino de aroma, respondiendo al 63 % de la producción total mundial en la comercialización de la variedad Arriba Nacional, caracterizada por producir almendras con alto potencial aromático y con compuestos asociados a propiedades sensoriales. El Ecuador cuenta con un área de plantación cacaotera que alcanza las 601 000 ha, ocupando el tercer lugar en los productos de exportación y generando un monto de 821 millones de dólares en el 2020 (Cobos, 2021); de esta forma también aporta con el 4 % de la Población Económicamente Activa (PEA) Nacional y con el 12,5 % de la PEA Agrícola (Intriago *et al.*, 2018).

En las provincias de Loja, El Oro y Zamora Chinchipe existen alrededor de 23 200 ha sembradas del cultivo de cacao (Sinagap, 2016); sin embargo, solo en la provincia de Zamora Chinchipe la superficie cultivada de cacao es de 848,8 ha, de las cuales se obtiene un rendimiento del clon EETP-800 de 2 t seco/ha; los agricultores cacaoteros buscan implementar actividades agronómicas que mejoren el rendimiento de este cultivo (Loor Solórzano *et al.*, 2018).

En el Litoral ecuatoriano, los campesinos están poniendo en práctica la asociación del cacao con árboles maderables, frutales, leguminosas y musáceas, con el fin de mejorar los suelos y que la sombra sea de beneficio para este cultivo (Tapia Vera *et al.*, 2021). En Zamora Chinchipe, se ha implementado tres sistemas de siembra, los cuales consisten en 62,42 % asociado principalmente con plátano como sombra temporal al inicio del cultivo, el 21,42 % asociado con maíz y frejol y 16,32 % establecido bajo un sistema agroforestal de sombra principalmente con árboles de guabos, porotillos y laurel (Deeper, 2019).

Otro punto importante para incrementar los rendimientos en el cultivo de cacao es el tipo de suelo, Medina *et al.* (2010) mencionaron que el cacao es una planta que se adapta a un clima

tropical húmedo, con suelos fértiles y bien drenados; además, los mismos autores resaltan que los árboles crecen mejor a pleno sol siempre y cuando exista suficiente humedad en el suelo, de ahí la importancia de manejar este cultivo bajo un sistema de sombreo adecuado. Castro and Munevar (2013) mencionaron que, para neutralizar la acidez en los suelos, es importante realizar una práctica de encalado, mejorando el pH de los suelos, la absorción y redistribución de N en la planta, consiguiendo liberar el P del suelo (Fisher *et al.*, 2017). Rosas *et al.* (2017) anunciaron que, al aumentar el pH en suelos de plantaciones cacaoteras, mejora la disponibilidad de P. De la misma forma (Baligar & Fageria, 2005) mencionaron que el encalado ayuda a mejorar la absorción y disponibilidad de nutrientes en las plantas de cacao.

Esta investigación se incluye dentro de la línea de investigación de la Universidad Nacional de Loja “Sistemas de producción agropecuaria para la soberanía alimentaria”, así como dentro del plan de estudio de la Carrera de Ingeniería Agronómica en la línea de investigación “Generación y validación de tecnologías apropiadas para la producción de frutales y cultivos”. Por último, esta investigación se encuentra dentro del macro proyecto que se denomina “Comportamiento del cacao (*Theobroma cacao* L.), bajo diferentes condiciones de luminosidad en etapa inicial de producción en la región sur del Ecuador”, financiado por la UNL a través de la Dirección de Investigación. Para el cumplimiento de la presente investigación se plantearon los siguientes objetivos:

3.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la modificación de la sombra y el encalado sobre variables fisiológicas y productivas en cacao clon EETP-800.

3.2. Objetivos específicos

- Determinar la influencia de la sombra y el encalado sobre los parámetros fisiológicos del cacao clon EETP-800.
- Identificar el efecto de la sombra y el encalado sobre los parámetros productivos del cacao clon EETP-800.

4. Marco teórico

4.1. Generalidades del cultivo

El cacao (*Theobroma cacao*), es una especie arbórea que pertenece al género *Theobroma*, subfamilia *Byttnerioideae* Burnett y familia *Malvaceae* (Abdullah *et al.*, 2020), se pueden encontrar 22 especies, de las cuales *T. cacao* es la de mayor importancia económica (Gopaulchan *et al.*, 2019). Este género ha sido cultivado desde hace más de 1 500 años por los mayas, por lo que se menciona que es originario de las regiones húmedas tropicales de Sur América y parte de Centro América (Motamayor *et al.*, 2002). Otros reportes sobre el origen de este género, demuestran que se ha encontrado evidencia arqueológica en la parte alta de la Amazonía en el sureste de Ecuador, que data de hace 5 300 años en el sitio Santa Ana – La Florida – Zamora Chinchipe (Zarrillo *et al.*, 2018). La mayor diversidad de especies de este género, se albergan en la limitación amazónica de Brasil, Colombia y Perú (Thomas *et al.*, 2012), este cultivo tiene un gran valor social e importancia económica en las regiones de América Latina y el Caribe, ya que es el principal producto de exportación (Guevara *et al.*, 2022).

El cacao es el tercer producto agrícola de exportación más importante del mundo, su producción es de 3 millones de toneladas a nivel mundial (Guiltinan *et al.*, 2008). En Ecuador, la producción de cacao genera importantes fuentes de empleo y favorece a aproximadamente 600 000 ecuatorianos (Intriago *et al.*, 2018), siendo así la principal fuente de ingreso para la mayoría de los sectores agrícolas y para la agroindustria (Loor *et al.*, 2009), sin embargo, Beg *et al.* (2017) mencionan que la producción de cacao, es fuente económica para más de 6 millones de pequeños agricultores en todo el mundo, ya que se exporta aproximadamente 110 976 t/año, generando ingresos de hasta 167 millones de dólares. La cadena de cacao participa con el 4 % de la Población Económicamente Activa (PEA) Nacional y con el 12,5 % de la PEA Agrícola (Intriago *et al.*, 2018).

Según Mihai *et al.* (2022) Ecuador es el país que lidera la exportación de cacao fino de aroma, respondiendo al 63 % de la producción total mundial en la comercialización de la variedad Arriba Nacional, caracterizada por producir almendras con alto potencial aromático y con compuestos

asociados a propiedades sensoriales. El Ecuador cuenta con un área de plantación cacaotera que alcanza las 601 000 ha, ocupando el tercer lugar en los productos de exportación (Cobos, 2021).

4.2. Clon EETP-800

El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) en conjunto con el Programa Nacional de Cacao, han trabajado para desarrollar nuevos clones de cacao de tipo nacional, para que se adapten fácilmente a diferentes zonas agroecológicas, que presenten resistencias a enfermedades e incrementen el rendimiento en su producción, mejorando así los atributos de calidad (Quiroz Vera *et al.*, 2021). Loor Solórzano *et al.* (2018) mencionan que el clon EETP-800, es el resultado de un arduo trabajo en el mejoramiento genético de los clones de tipo nacional, siendo liberado en el 2016 con denominación INIAP-EETP-800 Aroma Pichilingue (Loor-Solórzano *et al.*, 2019).

4.3. Morfología del cacao

El árbol de cacao es una especie perenne, mide de 4 a 8 m de altura como cultivo, pero en forma silvestre puede extenderse hasta los 20 m (Dostert *et al.*, 2011), su raíz principal es pivotante, alcanzando de 1,5 a 2,0 m de profundidad (García, 2006); las raíces laterales se encuentran en los primeros 30 cm del suelo y pueden alcanzar de 5 a 6 m de longitud en forma horizontal (López, 2011). El cacao tiene hojas simples enteras, angostamente ovadas, ligeramente asimétricas que varían entre 17 a 60 cm de largo y 7 a 14 cm de ancho; en la base son redondeadas o ligeramente cordada y presentan un ápice largo apiculado (Dostert *et al.*, 2011). La flor del cacao es hermafrodita, consta de cinco sépalos, cinco pétalos, diez estambres y un ovario súpero (Rincón, 2017). Las flores del cacao son rojizas, moradas o blancas, depende de la variedad (Novita, 2019). Su fruto (mazorca) oscila entre 10 a 30 cm de largo y de 7 a 9 cm de ancho, pueden ser de forma oblonga, elíptica, ovada, esférica y oblata; según los genotipos, el color del fruto es muy diverso, presentando frutos inmaduros de color verde, rojo, violeta o pigmentados; al madurar el color verde pasa a ser amarillo y el rojo violeta a anaranjado, presentando pigmentaciones en algunos casos (Graziani de Fariñas *et al.*, 2002); las almendras, presentan tamaños variables de 1.2 a 3 cm de longitud, están cubiertas por una pulpa de color blanco cremoso (muscílogo), la cual contiene distintos sabores y aromas, con diferentes grados de acidez, dulzura y astringencia; en el interior

los cotiledones pueden presentar colores que varían entre morado, violeta, rosado o blanco, según el genotipo de cacao (Gustavo, 2010).

4.4. Condiciones Edafoclimáticas

Al cacao se lo cultiva entre los 15° N y 15° S de latitud (Paredes, 2003), se desarrolla adecuadamente en temperaturas que oscilan entre los 25 y 27 °C, pero pueden llegar a soportar temperaturas mínimas de 13 a 21 °C, lo cual presenta un inadecuado desarrollo con bajos rangos de producción (Agrícola, 1991; Novita, 2019), las plantas de cacao se pueden adaptar a diferentes pisos altitudinales que van desde los 0 hasta los 600 msnm (Novita, 2019); sin embargo, Medina *et al.* (2010) mencionan que el cacao se ha adaptado a altitudes de 1 000 a 4 000 msnm en diferentes zonas cacaoteras del Ecuador., las precipitaciones van de 1 500 a 2 500 mm/año (Lass & Wood, 1985), si la precipitación excede los 2 600 mm/año, se ve afectada la producción (Paredes, 2003), la humedad relativa adecuada es del 80 % para una buena producción (Medina *et al.*, 2010).

4.5. Sombra

Las plantas de cacao necesitan sombra desde su fase inicial hasta su edad adulta (Melo, 2019), es por ello que a este cultivo se lo maneja bajo un sistema agroforestal de sombra controlada (Bergmann, 1969; Lobão *et al.*, 2007), sin embargo, Müller and Gama-Rodrigues (2007) recomiendan planificar un sistema agroforestal para asociar más de tres especies y sean cultivadas bajo este sistema. El manejo adecuado de la sombra en cacao es bastante complejo, ya que muchos factores intervienen en este proceso (Lass & Wood, 1985).

4.5.1. Sombra provisional o temporal

Es manejada en un corto periodo de 2 a 3 años a inicios del cultivo, con el propósito de reducir el efecto de la temperatura, luminosidad y el viento que es perjudicial en etapa tempranas de este cultivo (Enríquez, 1985). Se pueden utilizar los cultivos como la higuera, el poroto de palo, la papaya, la yuca y cualquier especie de musáceas (Dubón, 2016).

4.5.2. Sombra intermedia

Se la puede denominar como sombra puente, ya que se la debe eliminar a los 8 o 10 años de establecido el cultivo, pertenece a un sistema agroforestal, en la que se emplean especies maderables como albizia, cedro amarillo, flor amarilla (*Cassia siamea*), poró blanco y gigante, leucaena, moringa, entre otros (Dubón, 2016).

4.5.3. Sombra permanente

Pertenece netamente a un sistema agroforestal, ya que se utilizan especies forestales de madera fina y alto valor, estas pueden ser, caoba, cedro, granillo rojo, algarrobo, laurel, guabo; estas especies proveerán el 70 % de la sombra durante toda la vida productiva del cacao, además de proporcionarle las condiciones adecuadas para el desarrollo y producción del cultivo de cacao (Dubón, 2016; Enríquez, 1985).

4.5.4. Luminosidad

El desarrollo fisiológico y anatómico de una especie puede ser intervenida debido a los distintos niveles de luminosidad a la que puede ser sometida la planta (Gomes *et al.*, 2009), ya que las plantas de cacao son capaces de realizar fotosíntesis a niveles muy bajos de luz (Lemée, 1956).

4.6. Suelos

Los suelos de la región amazónica, representan el 35 % de suelos ácidos (Quesada *et al.*, 2011). El cultivo de cacao requiere suelos bien drenados y de buenas propiedades fisicoquímicas, ricos en fósforo (P) y potasio (K), con un pH de 6,5 de textura arcillosa, arenosa y limosa, con buena retención de agua (Silva Neto, 2001).

4.7. Encalado

La práctica del encalado es de suma importancia para neutralizar la acidez de los suelos (Castro & Munevar, 2013), ya que la adición de la cal eleva el pH y mejora la absorción y redistribución del nitrógeno (N) en la planta, además de liberar el fósforo (P) retenido del suelo (Fisher *et al.*, 2017; Lavres *et al.*, 2010; Zhu *et al.*, 2018).

Los suelos que presentan un pH menor a 5, necesitan recibir dosis adecuadas de cal (Novita, 2019), ya que limitan el contenido de materia orgánica, la eficiencia de los fertilizantes y la adecuada asimilación de nutrientes (López-Báez, 2018), afectando al desarrollo de los cultivos (Sadeghian, 2016).

5. Materiales y métodos

5.1. Ubicación del área de estudio y diseño experimental

La presente investigación se realizó en la Estación Experimental El Padmi (3° 51' S y 78° 45' O), de la Universidad Nacional de Loja, Yantzatza, Zamora Chinchipe - Ecuador. La altitud es de 820 m.s.n.m., con una temperatura media de 23°C y precipitación de 1978 mm/año; corresponde a un clima tropical subhúmedo y tropical húmedo.

Para la evaluación de los parámetros fisiológicos y productivos fueron seleccionadas plantas de cacao (*Theobroma cacao*) clon EETP-800 de 2 años de edad, establecidas en un área de 120 m x 31,5 m con densidad de siembra de 4 m x 3,5 m entre planta, a las cuales se les aplicó 2 tratamientos; con y sin sombra y 2 tratamientos con y sin encalado más 4 repeticiones, obteniendo un total de 16 plantas como unidades experimentales; se trabajó con el modelo del DCA (Figura 1).

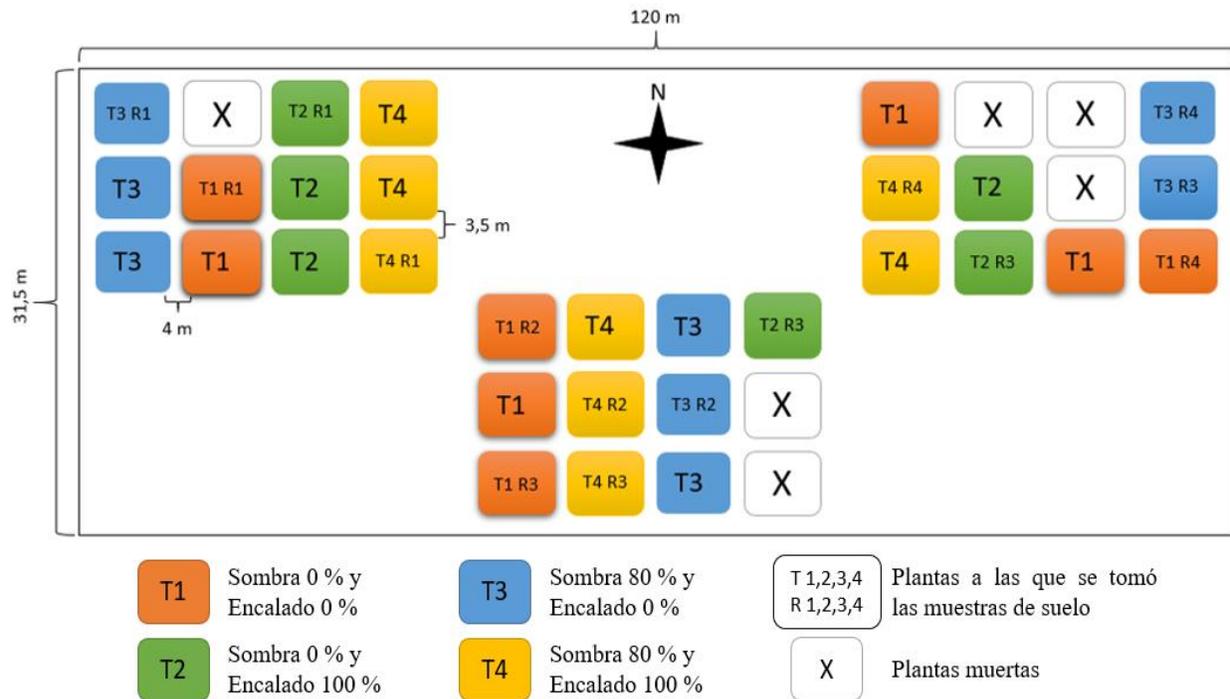


Figura 1. Diseño experimental del área de estudio.

5.2. Metodología para el primer objetivo específico: Determinar la influencia de la sombra y el encalado sobre parámetros fisiológicos del cacao clon EETP-800

Para cumplir con la evaluación de los objetivos, se replantó postes de madera alrededor de las plantas de cacao clon EETP-800 previamente seleccionadas y sobre las mismas se colocó malla sarán al 80% para poder proporcionar la sombra adecuada para el estudio del proyecto. Se aplicó 2 kg de cal dolomita por planta (16 plantas) del clon EETP-800 dosificada en 1 kg por aplicación cada 22 días, esta dosis fue aplicada partiendo con un pH de suelo de 5,57 obtenido previo a un análisis general de suelo. El pH promedio obtenido en el estudio del proyecto fue de 5,75.

5.2.1. Diámetro de copa

Con la ayuda de una cinta métrica se procedió a tomar la distancia de Norte-Sur y Este-Oeste de cada planta de cacao clon EETP-800, los datos registrados fueron promediados en la fórmula (Diámetro = perímetro/ π).

5.2.2. Índice del área foliar

Para la evaluación del área foliar se seleccionaron 20 hojas al azar de cada tratamiento, con la ayuda de una cinta métrica se les registró el ancho de cada hoja seleccionada; además, se contabilizó el número total de hojas de cada planta de cacao (clon EETP-800). Para la determinación del IAF, se utilizaron estimaciones alométricas basadas en un análisis de regresión, cuyo ajuste fue el modelo potencial para el ancho de la hoja.

5.2.3. Sección transversal del tronco

La sección transversal del tronco se la registró al inicio y final del experimento, con una cinta métrica se tomaron los datos a 10 cm de la base del suelo, con los datos registrados se calculó el área del tronco, expresada en cm^2 .

5.2.4. Estimación de la concentración de clorofila foliar

La concentración de clorofila se la midió mediante la obtención del índice SPAD SPAD-502plus, para ello se seleccionaron 2 hojas funcionales de cada planta de cacao clon EETP-800 y los valores obtenidos se los promedió, obteniendo así la concentración de clorofila.

5.2.5. pH y Conductividad eléctrica del suelo

Para el análisis de estas variables, antes de la primera aplicación de cal dolomita a los cuatro tratamientos (T1, T2, T3 y T4), se recolectó 100 gramos de suelo a 5 cm de profundidad y al pie de las plantas de cacao clon EETP-800 (16 muestras), estas muestras fueron secadas, tamizadas y enviadas al Laboratorio de Análisis Químico de la UNL para la evaluación de pH y CE del suelo. El mismo procedimiento se lo realizó por tres ocasiones, con intervalos de tiempo de 22 días después de cada aplicación.

5.3. Metodología para el segundo objetivo específico: Identificar el efecto de la sombra y el encalado sobre los parámetros productivos del cacao clon EETP-800

Para la evaluación de los parámetros productivos del cacao clon EETP-800, se lo realizó acorde a la escala BBCH indicada por Niemenak *et al.*, (2009) y así tomar registro del estado fenológico de los frutos cada 22 días, partiendo del estado BBCH30 (generación de ramas).

5.3.1. Tamaño de los frutos de cacao

Con la ayuda de una cinta métrica se midió la longitud y el diámetro ecuatorial de 3 frutos por UE, este procedimiento se lo realizó cada 22 días hasta la temporada de cosecha.

5.3.2. Rendimiento estimado

Se valoró cuando las mazorcas alcanzaron su madurez fisiológica. Se cuantificó el número de frutos por UE y con una balanza digital se determinó el peso total y el peso fresco de las almendras de cada fruto, una vez obtenidos los datos se calculó el rendimiento estimado de las plantas de cacao clon EETP-800. Los datos de este rendimiento fueron solamente de la cosecha que se obtuvo en el tiempo que duró este proyecto.

5.3.3. Análisis bromatológicos

Para este análisis se seleccionaron 12 mazorcas de cacao más representativas, mismas que fueron llevadas al laboratorio de bromatología para los análisis de grados brix, acidez, grasa y proteína de la pulpa y almendras del fruto. Para ello se siguió el protocolo del método oficial AOAC 942.15 Acidez (titulable) de productos de frutas, Primera acción 1942. Se realizó el peso fresco de las almendras, posterior se las colocó en la estufa a 50°C por 78 horas para poder registrar el peso seco de las almendras.

a. Sólidos solubles del mucílago de cacao (Grados Brix)

Primeramente, se abrieron las mazorcas de cacao para poder extraer las almendras, una vez extraídas se retiró el mucílago y se procedió a colocar una gota en el Brixómetro para observar el porcentaje de grados Brix de cada UE.

b. Acidez titulable del mucílago de cacao

Ya extraído el mucílago, se pesó 25 g en vasos de precipitación para posterior aforar con agua destilada a 200 ml en balones y colocarlos a hervir por 10 min. Una vez transcurrido este tiempo se dejó enfriar a temperatura ambiente y se procedió a realizar la titulación con Fenolftaleína hasta que tomó una coloración violeta.

c. Humedad de las almendras de cacao

Una vez extraído el mucílago, se procedió a tomar el peso inicial de las almendras, posterior se las colocó en la estufa a 50°C por 78 horas y se registró el peso seco de las almendras.

La fórmula que se utilizó en este cálculo fue:

$$\%MSP = \frac{\text{Peso de la muestra parcialmente seca}}{\text{Peso de muestra TCO}} * 100$$

$$\text{Porcentaje de humedad inicial (\%HI)} = \text{Porcentaje de humedad parcial (\%HP)}$$

d. Grasa de las almendras de cacao

Cuando las almendras estuvieron totalmente secas y con la ayuda de un mortero se las trituró hasta hacerlas polvo, seguidamente se pesó 4 g por UE en la balanza digital y se las colocó en los balones para poder extraer la grasa con extracto etéreo.

e. Proteína de las almendras de cacao

Se utilizó el método Kjeldahl para determinar la concentración de nitrógeno total, y con ello en contenido de proteínas. En la balanza digital se pesó 0,3 g de muestra triturada por UE, posterior se colocó en los tubos de ensayo y se las introdujo en el equipo Kjeldahl, se las dejó reposar a temperatura ambiente. Seguidamente se procedió a titular con soluciones de calibrado y ácido sulfúrico al 0,1 normal (García Martínez *et al.*, 2013).

f. Cenizas de las almendras de cacao

Se colocó las muestras trituradas en un crisol a 150°C en la estufa por 24 horas, transcurrido este tiempo se registró el peso de la ceniza en una balanza, posteriormente se procedió a colocar la ceniza en la balanza digital para registrarla.

5.4. Análisis Estadístico

El análisis estadístico se realizó con el software InfoStat, en el que se aplicó el ANOVA para determinar si existió o no diferencia significativa entre los tratamientos; el Análisis de Supuestos para determinar si los datos poseían o no distribución normal y el Test de Tukey (95 %) para determinar cuál es el mejor tratamiento.

6. Resultados

6.1. Parámetros fisiológicos

6.1.1. Diámetro de copa

En la figura 2, se observa el registro del diámetro de copa desde el día 0 hasta los 111 días, donde no se presentaron diferencias estadísticamente significativas (p-valor: 0,3944). Sin embargo, el tratamiento testigo (T1) registró un mayor diámetro de copa; mientras que el tratamiento de encalado (T2) registraron el menor diámetro de copa.

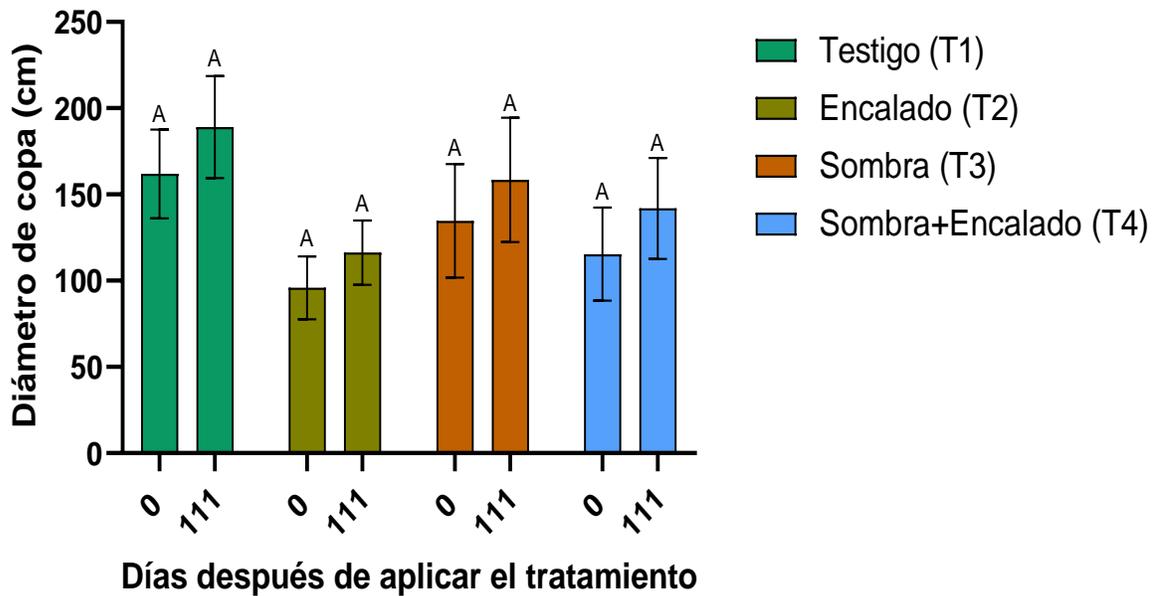


Figura 2. Incremento del diámetro de copa en las plantas de cacao clon EETP-800 desde el día 0 hasta los 111 días de haber aplicado el tratamiento.

6.1.2. Índice del área foliar

En la figura 3 se muestra el índice del área foliar (IAF), el cual no registró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (p-valor: 0,1287). Sin embargo, el tratamiento testigo (T1) presentó un mayor IAF; mientras que, el tratamiento con encalado (T2) registraron un menor IAF.

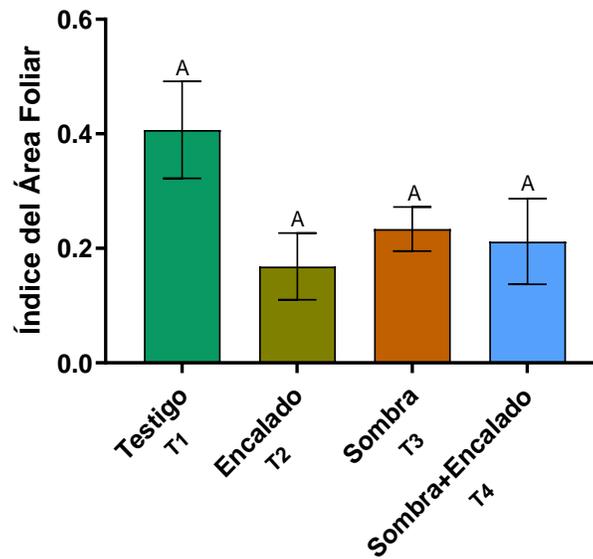


Figura 3. Índice del área foliar de las plantas de cacao clon EETP-800 al final del experimento.

6.1.3. Sección transversal del tronco

En la figura 4, se observa que los tratamientos no registraron diferencias estadísticamente significativas (p-valor: 0,032); sin embargo, se observa que el T1 presentó la mayor medida en el área del tronco al inicio y final del experimento, mientras que el T2 registró la menor medida.

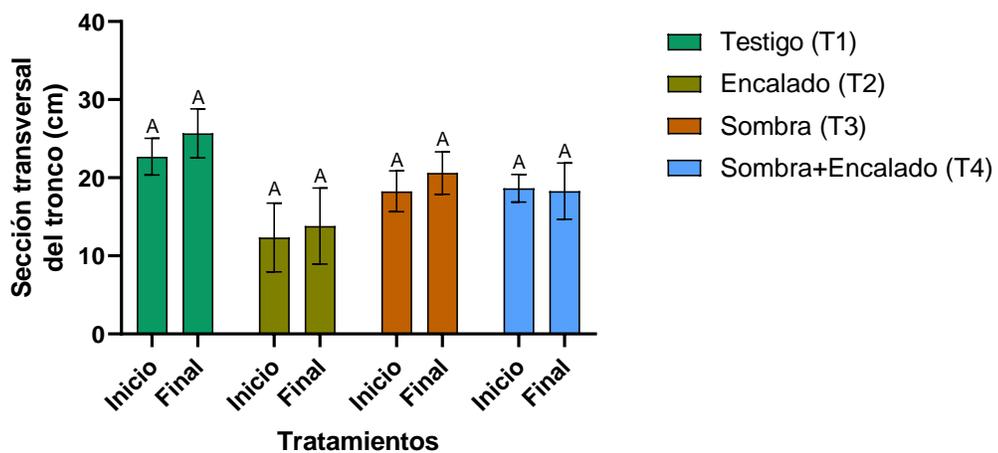


Figura 4. Incremento de la sección transversal del tronco de las plantas de cacao clon EETP-800.

6.1.4. Estimación de la concentración de clorofila foliar (SPAD)

En la determinación del contenido de clorofila (figura 5) se manifestó diferencia estadísticamente significativa (p-valor: 0,70) en tratamiento con interacción Sombra+Encalado (T4); sin embargo, el T3 registró la mayor concentración de clorofila.

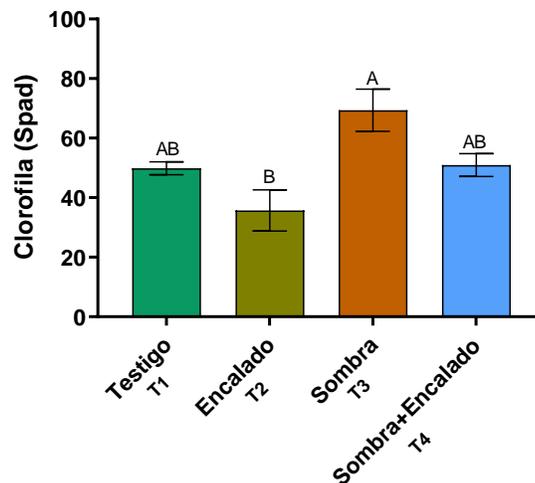


Figura 5. Concentración de clorofila de las hojas de cacao clon EETP-800.

6.1.5. pH y Conductividad eléctrica del suelo

En la figura 6 se muestra el análisis de pH, la cual no presentó diferencias estadísticamente significativas (p-valor < 0,05) entre los tratamientos, pero se observa que el factor encalado (T2) y la interacción sombra + encalado (T4), registraron los valores más elevados de pH. Sin embargo, en el factor sombra (T3) se registró una baja en el último análisis realizado.

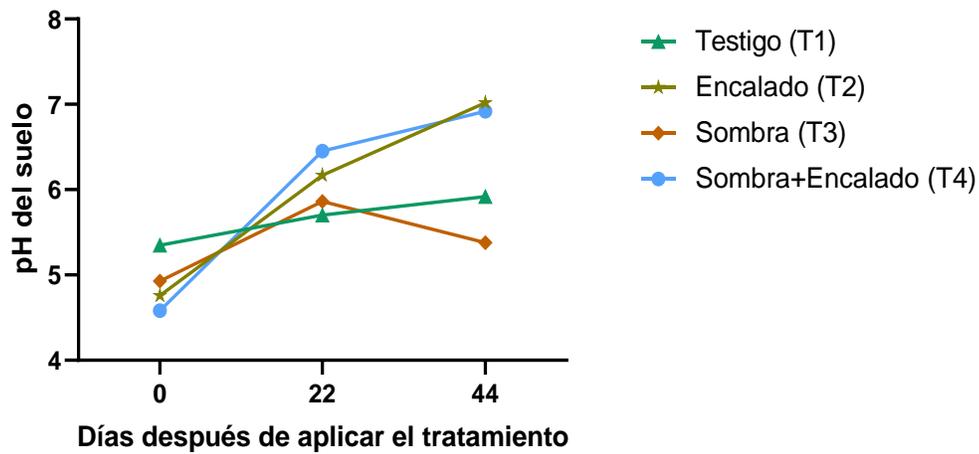


Figura 6. Evolución del pH en el suelo desde el día 0 hasta los 44 días después de haber aplicado el tratamiento del encalado en las plantas de cacao clon EETP-800.

En la figura 7 se muestra el análisis de CE, la cual presentó diferencias estadísticamente significativas (p -valor $< 0,05$) entre los tratamientos T1 y T4, siendo la interacción (T4) la que registra un elevado valor de CE. En los factores sombra y encalado no existieron diferencias estadísticamente significativas.

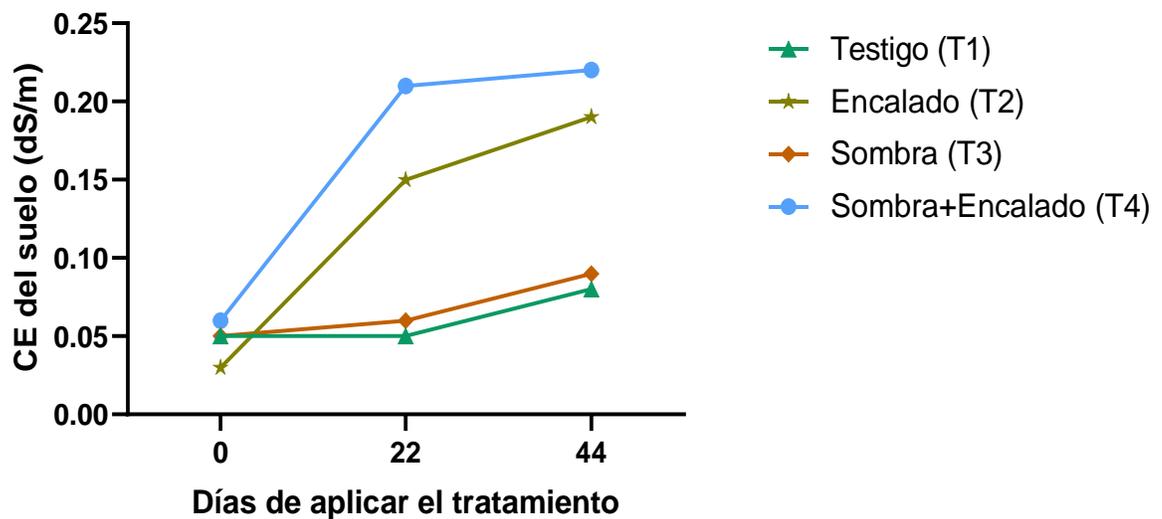


Figura 7. Evolución de la conductividad eléctrica (CE) del suelo desde el día 0 hasta los 44 días después de haber aplicado el tratamiento de encalado en las plantas de cacao clon EETP-800.

6.2. Parámetros productivos

6.2.1. Tamaño de los frutos de cacao

En la figura 8 se observa que los frutos del testigo (T1) presentaron la mayor dimensión longitudinal; mientras que, los frutos del encalado (T2) fueron los que registraron la menor. Los tratamientos no presentaron diferencias estadísticamente significativas (p -valor $> 0,05$).

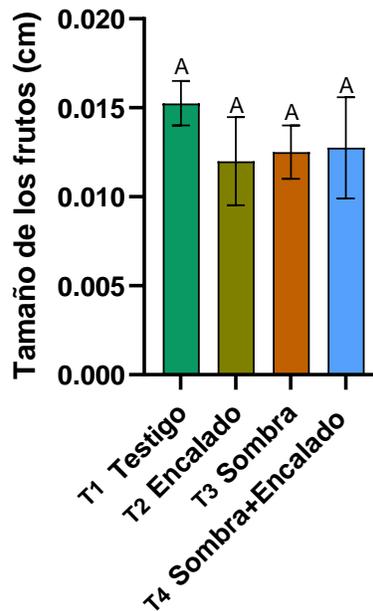


Figura 8. Tamaño de los frutos de cacao clon EETP-800.

6.2.2. Rendimiento estimado

En la figura 9 se observa que no existió diferencias estadísticamente significativas (p -valor $> 0,05$) entre los tratamientos (T1, T2, T3 y T4); sin embargo, se observa que el mayor rendimiento se obtuvo del factor sombra (T3) y el menor rendimiento del factor encalado (T2).

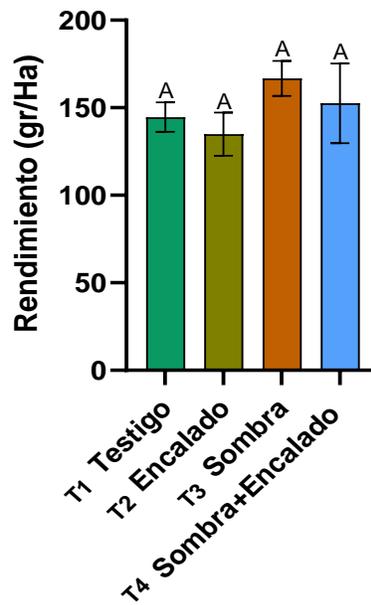


Figura 9. Rendimiento estimado en peso fresco de los frutos de cacao clon EETP-800.

6.2.3. Análisis bromatológicos

a. Sólidos Solubles del mucílago de cacao (Grados brix)

La figura 10 no muestra diferencias significativas ($p\text{-valor} > 0,05$) en los factores evaluados; sin embargo, se observa que el testigo presentó mayor concentración de grados brix, mientras que el valor más bajo fue del encalado.

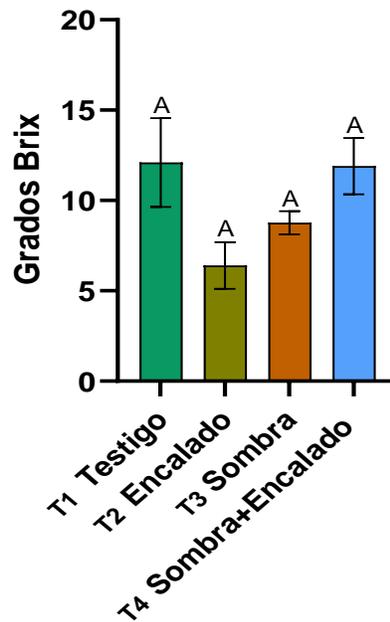


Figura 10. Registro de grados brix del mucílago de los frutos de cacao clon EETP-800.

b. Acidez titulable del mucílago de cacao

La figura 11 no presentó diferencias significativas (p -valor $> 0,05$) en los factores evaluados; sin embargo, se puede observar que la interacción sombra + encalado (T4) es la que registró un mayor porcentaje de acidez; mientras que, el factor encalado (T2) presentó el menor porcentaje.

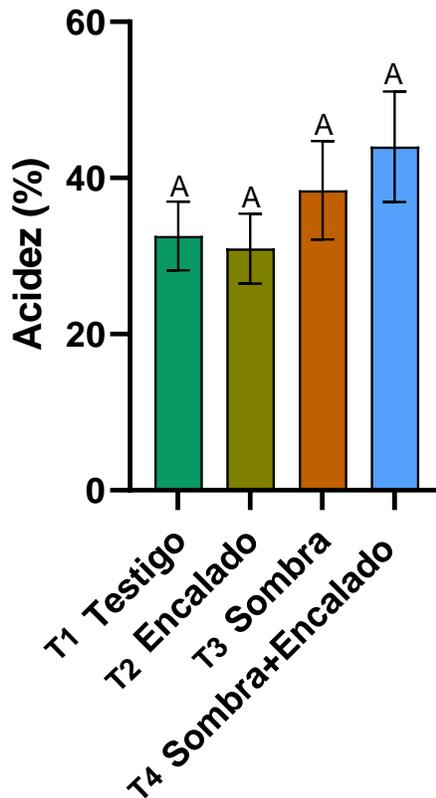


Figura 11. Registro de acidez titulable del mucílago de los frutos de cacao clon EETP-800.

c. Humedad de las almendras de cacao

En la figura 12 se muestra los porcentajes de humedad inicial y final de las almendras de cacao clon EETP-800, en el que se puede observar que al inicio el testigo presentó un mayor porcentaje de humedad y el encalado el menor. En el registro final, el tratamiento sombra registró el mayor porcentaje de humedad y el testigo el menor porcentaje.

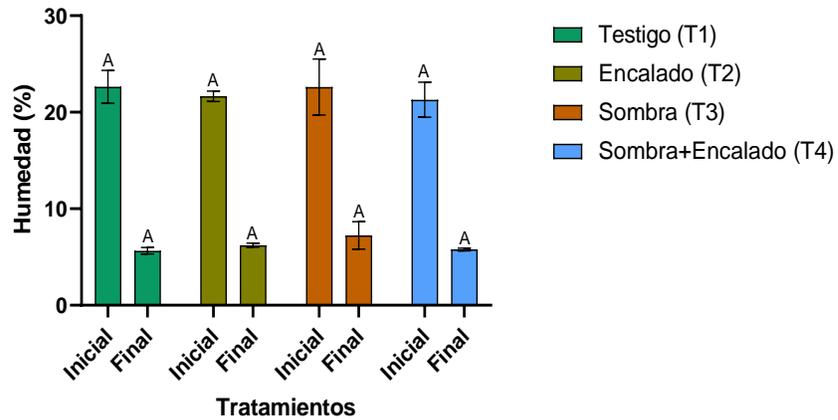


Figura 12. Porcentajes de humedad inicial y final de las almendras de frutos de cacao clon EETP-800.

d. Grasa de las almendras de cacao

El contenido de grasa mostrado en la figura 13, no presentó diferencias estadísticas significativas (p -valor $> 0,05$); sin embargo, la interacción sombra + encalado (T4) contiene los valores más elevados en grasa. El factor sombra es el que presenta el menor contenido de grasa.

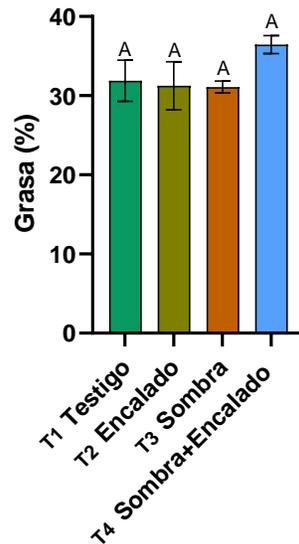


Figura 13. Contenidos de grasa de las almendras de los frutos de cacao clon EETP-800.

e. Proteína de las almendras de cacao

La figura 14 nos muestra que los tratamientos no presentaron diferencias estadísticas significativas (p -valor $> 0,05$); sin embargo, el factor encalado (T2) fue el más sobresaliente; mientras que, el testigo registró el menor valor.

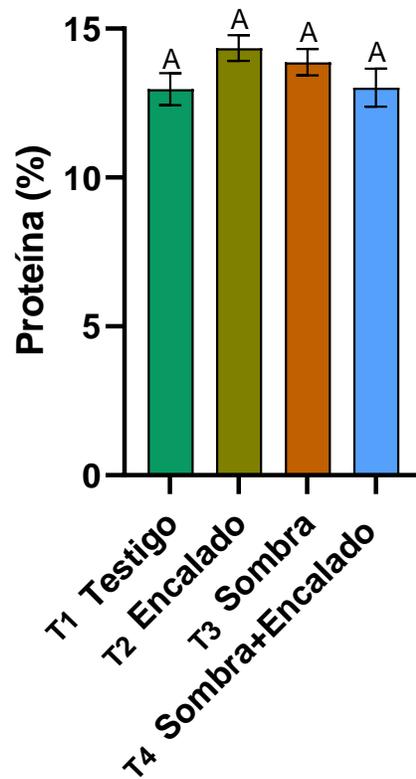


Figura 14. Contenidos de proteína de las almendras de los frutos de cacao clon EETP-800.

f. Ceniza de las almendras de cacao

En la figura 15 los tratamientos no presentaron diferencias significativas (p -valor $> 0,05$), pudiendo observar que el factor sombra es el que presentó el mayor contenido de ceniza; mientras que, el testigo contuvo el menor valor.

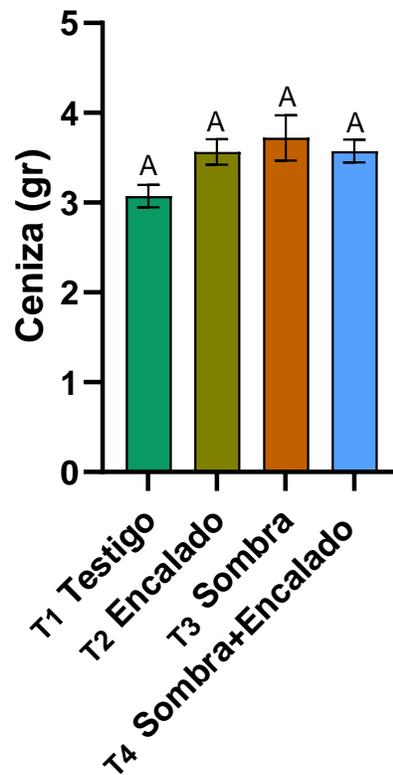


Figura 15. Contenido de ceniza de las almendras de los frutos de cacao clon EETP-800.

7. Discusión

Dentro de los 111 días que duró la evaluación, los parámetros fisiológicos del cultivo de cacao clon EETP-800, mostraron que las variables del diámetro de copa, no presentó diferencias estadísticas significativas; pudiendo evidenciar que el testigo registró el mayor incremento, lo cual indica que ni los factores sombra y enalado, influyeron en el crecimiento del diámetro de copa. Este resultado se asemeja al estudio de (Medina *et al.*, 2010), quienes mencionan que el cacao es una planta que se adapta a un clima tropical húmedo con suelos fértiles y que crecen mejor a pleno sol siempre y cuando exista suficiente humedad en el suelo, he ahí la importancia de manejar este cultivo bajo un sistema de sombreado adecuado.

En cuanto al índice del área foliar (IAF), el resultado de los tratamientos no mostró diferencias estadísticas significativas; sin embargo, el tratamiento con mayor IAF fue el T1 (testigo), esta información se contradice a lo publicado por (García *et al.*, 2020), quienes observaron que las plantas bajo una alta intensidad lumínica tienen una menor área foliar. Este resultado está más asociado a lo anunciado por (Medina *et al.*, 2010), quienes aluden que las plantas se desarrollan mejor a pleno sol.

Otras publicaciones realizadas por Dostert *et al.* (2011) y Rada *et al.* (2005), indican que el cacao es una planta tolerante a la sombra y autosombreado, pero que a su vez, esto puede disminuir el crecimiento y rendimiento del cultivo, ocasionando la poca asimilación de CO₂, en tales condiciones, es causa de una baja producción de frutos y vulnerabilidad de la planta al ataque de plagas y enfermedades. Con base al estudio realizado, se pudo demostrar concordancia con lo antes mencionado, ya que el cultivo fue sometido a un 80 % bajo sombra, además de la sombra generada por las especies arbóreas presentes en la zona de estudio, registrando una mayor aparición de insectos (grillos y hormigas) en las plantas sometidas a sombra, los cuales afectaron al área foliar del clon EETP-800.

En cuanto a la sección transversal del tronco, este no presentó diferencias significativas, además que se pudo observar que el T1 (testigo) registró el mayor incremento del diámetro del tronco al inicio y final del periodo de evaluación, lo que revela que, ni los factores sombra y enalado pueden influir en el incremento de la sección transversal del tronco. Este resultado, sin

embargo, se contradice a lo publicado por Álvarez-Sánchez *et al.* (2013), quienes señalan que las plantas sometidas a la aplicación de cal, obtuvieron un mayor incremento en altura y en el diámetro de su tallo.

La concentración de clorofila presentó diferencias estadísticas significativas en los tratamientos T3 (sombra) y T2 (encalado), pero el T3 fue el que presentó una mayor concentración de clorofila, esto se relaciona con lo expuesto por Jaimez *et al.* (2008), quienes recomiendan que las plantas de cacao deben ser sembradas bajo sombra parcial, ya que pueden asimilar con facilidad el CO₂ y contener altas concentraciones de clorofila. Este resultado también se relaciona con el estudio de Almeida and Valle (2007), ya que ellos observaron que la poca disponibilidad de luz, incide a que las células incrementen su concentración de clorofila y optimizar la fotosíntesis; esto a su vez se entrelaza con lo anunciado por Lemée (1956), quien indica que las plantas de cacao son capaces de realizar fotosíntesis a niveles muy bajos de luz.

El análisis del pH del suelo, no mostró diferencias significativas entre los tratamientos, pero se pudo demostrar que los tratamientos que registraron un elevado análisis de pH fueron el T2 (encalado) y T4 (sombra + encalado), lo que corrobora que, en ciertas condiciones, el factor encalado puede influir en el incremento del pH en el suelo. Esto coincide además con lo publicado por Castro and Munevar (2013), quienes testifican que la práctica del encalado es de suma importancia para neutralizar la acidez de los suelos, ya que la adición de la cal eleva el pH y mejora la absorción y redistribución del nitrógeno (N) en la planta, además de liberar el fósforo (P) retenido del suelo, dicho también por los autores (Fisher *et al.*, 2017; Lavres *et al.*, 2010; Zhu *et al.*, 2018).

En el análisis de conductividad eléctrica (CE), los valores se incrementaron a partir de los 22 días de haber aplicado la cal, pero los que registraron un mayor valor fueron la interacción sombra + encalado (T4) y encalado (T2). Cabe destacar que estos resultados fueron menores a 1 dS m^{-1} , lo que se demuestra también que los suelos de la zona estudiada no presentaron problemas de salinidad; esto coincide con lo publicado por Barbaro *et al.* (2014), quienes mencionan que a mayor CE, mayor es la concentración de sales, por ende, para los cultivos es conveniente que la CE del suelo sea baja.

En la dimensión de los frutos no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados; no obstante, el tratamiento con mayor dimensión de frutos fue el T1, mientras que los T3 y T4 mantuvieron la misma dimensión de frutos, este resultado se relaciona con lo anunciado por Alexandra (2014), quien resalta que el crecimiento y desarrollo de los frutos está condicionado a los factores ambientales (temperatura, radiación, humedad y precipitación), mismos que afectan a los procesos metabólicos de los frutos y se ven reflejados en su calidad y tamaño.

En cuanto al rendimiento del clon EETP-800, las variables no presentaron diferencias significativas, no obstante, el mayor registro presentó el T3 (sombra), seguido del T4 (sombra + encalado); este resultado desacuerda a lo publicado por Dostert *et al.* (2011) y Rada *et al.* (2005), quienes comentan que las plantas de cacao tolerantes a la sombra, tienden a disminuir su crecimiento y rendimiento ocasionado por la poca asimilación de CO₂, lo que causa la baja producción de frutos y la sensibilidad a plagas y enfermedades. Al respecto, Benavides (2013), expone que el cultivo de cacao es exigente en nutrientes, más aún, cuando se encuentra expuesto a la intensidad lumínica, por lo que aumenta su fotosíntesis; por el contrario, cuando el cultivo se encuentra bajo sombra, se da un equilibrio en la mineralización de la materia orgánica, ya que le aporta nutrientes al momento de la descomposición. Esto puede ser una razón del porqué el T3 y T4 tuvieron el mayor registro en el rendimiento del clon evaluado (EETP-800).

En cuanto a los resultados de las variables grados brix, acidez, humedad, grasa, proteína y cenizas, no presentaron diferencias significativas; sin embargo, en los grados brix el mayor porcentaje obtuvo el T1 (testigo) con el 12,10%, seguido del T4 (sombra + encalado) con el 11,90%. Estos valores se encuentran por debajo del porcentaje anunciado por Loor and Zambrano (2020), quienes testifican que el porcentaje mínimo de grados brix que debe tener el cacao es 14%. Los bajos porcentajes obtenidos puede deberse a que el cultivo recién está empezando su etapa de producción.

Con respecto a la humedad de almendra, los porcentajes más altos fueron del T1 (testigo) al inicio (almendra fresca), y del T3 (sombra) al final (almendra seca). Estos resultados coinciden con lo publicado por Isla and Andrade (2009), quienes indican que la humedad de la semilla, antes de someterlas al secado es del 55% de humedad, por lo que debe reducirse al 6 – 7,5% para que las almendras de cacao se puedan guardar o comercializar. De igual manera Cubillos *et al.* (2008),

revelan que la humedad de los granos de cacao no debe ser mayor al 8% porque los granos tienden a enmohecerse, ni menor al 6% porque los granos se vuelven frágiles y quebradizos.

El mayor porcentaje de grasa se registró en el T4 (sombra + encalado), obteniendo el 36,45%; sin embargo, lo publicado por Caobisco (2015), señala que el contenido de grasa puede llegar hasta los 55 – 58%, aunque estos valores pueden variar dependiendo de las variaciones climáticas de las zonas en donde se cultiva el cacao.

El porcentaje más alto de proteína fue del 14,35%, en el T2 (encalado), este resultado se relaciona con lo publicado por Loo Miranda (2019), quien obtuvo el 48,82% de proteína cruda en almendras de cacao sin fermentar. Por otra parte, el contenido de ceniza más alto se registró del T3 (sombra), con 3,72%; valores que se relacionan con los resultados publicados por el mismo autor (Loo Miranda, 2019), quién obtuvo el 3,36 y 3,74% de cenizas en almendras de cacao.

8. Conclusiones

- El uso de sombra y encalado aplicados en el estudio, no mostraron efectos significativos en los parámetros fisiológicos evaluados, como el diámetro de copa, índice del área foliar, sección transversal del tronco, pH y conductividad eléctrica del suelo; sin embargo, la concentración de clorofila, si registró diferencias significativas entre los tratamientos encalado (T2) y sombra (T3).
- En los parámetros productivos (dimensiones de los frutos, rendimiento, grados brix, acidez, humedad, grasa, proteína y cenizas) tampoco se registraron efectos significativos de la sombra y el encalado.

9. Recomendaciones

- Continuar con el estudio del clon EETP-800, para observar si en verdad los factores sombra y encalado influyen directamente en el cultivo, ya que es la primera aplicación de cal que se le da al cultivo, además de ser la primera producción que se obtiene del mismo.
- Monitorear frecuente mente el suelo, para evitar el incremento de la CE, ya que los suelos se pueden salinizar debido a las aplicaciones de cal.
- Mantener limpio de malezas el área de estudio, ya que se pueden encontrar reptiles venenosos en el cultivo, además de conservar la poli sombra en buen estado para que pueda influir directamente en las plantas.

10. Bibliografía

- Abdullah, Waseem, S., Mirza, B., Ahmed, I., & Waheed, M. T. (2020). Comparative analyses of chloroplast genomes of *Theobroma cacao* and *Theobroma grandiflorum*. *Biologia*, 75(5), 761-771. <https://doi.org/10.2478/s11756-019-00388-8>
- Agrícola, D. G. d. I. y. E. (1991). Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica. In: Ministerio de Agricultura y Ganadería San José.
- Alexandra, D. O. Y. (2014). Los frutos y su fotosíntesis. *Conexión Agropecuaria JDC*, 4, 39-47. <https://revista.jdc.edu.co/index.php/conexagro/article/view/227>
- Almeida, A.-A. F. d., & Valle, R. R. (2007). Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19, 425-448.
- Álvarez-Sánchez, M. E., Hernández-Acosta, E., Maldonado-Torres, R., & Rivera-González, M. (2013). Encalado y micorriza para corregir deficiencia de fósforo en un Andisol cultivado con *Pinus halepensis*. *Madera y bosques*, 19(1), 7-16.
- Baligar, V. C., & Fageria, N. K. (2005). Aluminum influence on growth and uptake of micronutrients by cacao. *Journal of food agriculture and environment*, 3(3/4), 173.
- Barbaro, L., Karlanian, M., & Mata, D. (2014). Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas. *Presidencia de la Nación, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina.*
- Beg, M. S., Ahmad, S., Jan, K., & Bashir, K. (2017). Status, supply chain and processing of cocoa-A review. *Trends in food science & technology*, 66, 108-116.
- Benavides, A. C. (2013). SOMBREAMIENTO-AGROFORESTERIA.
- Bergmann, J. F. (1969). The distribution of cacao cultivation in pre-Columbian America. *Annals of the Association of American Geographers*, 59(1), 85-96.
- Caobisco. (2015). Cacao en grano: Requisitos de calidad de la industria del chocolate y del cacao. In: End, M.J and Dand, R.
- Castro, H., & Munevar, Ó. (2013). Mejoramiento químico de suelos ácidos mediante el uso combinado de materiales encalantes. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 16(2), 409-416.
- Cobos, E. (2021, 2021/03/11). *Ecuador tiene en el cacao una oportunidad de oro.* [https://revistagestion.ec/economia-y-finanzas-analisis/ecuador-tiene-en-el-cacao-una-oportunidad-de-oro#:~:text=A%20pesar%20de%20la%20contracci%C3%B3n,5%20a%C3%B1os%20\(Gr%C3%A1fico%202\)](https://revistagestion.ec/economia-y-finanzas-analisis/ecuador-tiene-en-el-cacao-una-oportunidad-de-oro#:~:text=A%20pesar%20de%20la%20contracci%C3%B3n,5%20a%C3%B1os%20(Gr%C3%A1fico%202))
- Cuatrecasas, J. (1964). *Cacao and its allies: a taxonomic revision of the genus Theobroma* (Vol. 35). Smithsonian Institution.
- Cubillos, G., Merizalde, G. J., & Correa, E. (2008). *Manual de beneficio del cacao 2008 para: técnicos, profesionales del sector agropecuario y productores.*
- Deeper, J. (2019). *Pdot 2019 2023 Zamora Chinchipe - Cacao.* <https://es.scribd.com/document/495388316/PDOT-2019-2023-ZAMORA-CHINCHIPE>
- Dostert, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M. I., & Weigend, M. (2011). *Factsheet: Datos botánicos de cacao.*
- Dubón, A. (2016). *Establecimiento de la sombra para plantaciones nuevas de cacao.* INFOCACAO. http://www.fhia.org.hn/downloads/cacao_pdfs/infocacao/InfoCacao_No7_Mar_2016.pdf

- Enríquez, G. A. (1985). *Curso sobre el cultivo del cacao*. Bib. Orton IICA/CATIE.
- Fisher, K. A., Yarwood, S. A., & James, B. R. (2017). Soil urease activity and bacterial ureC gene copy numbers: Effect of pH. *Geoderma*, 285, 1-8.
- García, D. R., Montes, C. D., Serrano, Y. L., & Laverdeza, R. B. (2020). Cambios en rasgos funcionales de las hojas de *Piper reticulatum* (Piperaceae) en luz y sombra en La Selva, Costa Rica. *UNED Research Journal*, 12(1), e2799-e2799.
- García Martínez, E. M., Fernández Segovia, I., & Fuentes López, A. (2013). Aplicación de la determinación de proteínas de un alimento por el método Kjeldahl. Valoración con una base fuerte.
- García, P. (2006). Clasificación intraespecífica de 14 árboles híbridos seleccionados de cacao (*Theobroma cacao* L.) mediante análisis de conglomerados, en Tulumayo Patricia GARCÍA, 2 Luis GARCÍA. Primer congreso peruano de mejoramiento genético y biotecnología agrícola,
- Gomes, P. A., de Souza, M. F., de Souza Júnior, I. T., Junior, W. G. O. C., de Figueiredo, L. S., & Martins, E. R. (2009). Influência do sombreamento na produção de biomassa, óleo essencial e quantidade de tricomas glandulares em cidrão (*Lippia citriodora* Lam.). *Biotemas*, 22(4), 9-14.
- Gopaulchan, D., Motilal, L. A., Bekele, F. L., Clause, S., Ariko, J. O., Ejang, H. P., & Umaharan, P. (2019). Morphological and genetic diversity of cacao (*Theobroma cacao* L.) in Uganda. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 25(2), 361-375. <https://doi.org/10.1007/s12298-018-0632-2>
- Graziani de Fariñas, L., Ortiz de Bertorelli, L., Angulo, J., & Parra, P. (2002). Características físicas del fruto de cacaos tipos criollo, forastero y trinitario de la localidad de Cumboto, Venezuela. *Agronomía tropical*, 52(3), 343-362.
- Guevara, E., Rojas, A. E., & Florez, H. (2022). Technology Platform for the Information Management of *Theobroma Cacao* Crops based on the Colombian Technical Standard 5811. *Engineering Letters*, 30(1).
- Guiltinan, M. J., Verica, J., Zhang, D., & Figueira, A. (2008). Genomics of *Theobroma cacao*, "the Food of the Gods". In *Genomics of tropical crop plants* (pp. 145-170). Springer.
- Gustavo, E. (2010). *Cacao orgánico: Guía para productores ecuatorianos*.
- Intriago, F. L. M., Zenteno, M. D. C., Neto, J. A. F., Galeas, M. M. P., Caicedo, W. R. B., & Moyano, M. N. A. (2018). Cadena de comercialización del cacao nacional en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Revista Ciencia y Tecnología*, 11(1), 63-69.
- Isla, E., & Andrade, B. (2009). Manual para la producción de cacao orgánico en las comunidades nativas de la cordillera del Cóndor. *Proyecto paz y conservación binacional en la Cordillera del Cóndor, Ecuador-Perú-Fase II (Componente Peruano)*.
- Jaimez, R. E., Teraza, W., Coronel, I., & Urlich, R. (2008). Ecofisiología del cacao (*Theobroma cacao*): su manejo en el sistema agroforestal. Sugerencias para su mejoramiento en Venezuela.
- Lass, R., & Wood, G. A. R. (1985). *Cocoa production: present constraints and priorities for research*. The World Bank.
- Lavres, J. J., Reis, A. R., Rossi, M. L., Cabral, C. P., Nogueira, N. d. L., & Malavolta, E. (2010). Changes in the ultrastructure of soybean cultivars in response to manganese supply in solution culture. *Scientia Agrícola*, 67, 287-294.
- Lemée, G. (1956). Recherches eco-physiologiques sur le cacaoyer. *Rev. Gén. Bot*, 63, 41-96.

- Lobão, D., Setenta, W., Lobão, E., Curvelo, K., & Valle, R. (2007). Cacao cabruca: sistema agrossilvicultural tropical. *Ciência, tecnologia e manejo do Cacaueiro*, 290-323.
- Loo Miranda, J. L. M. (2019). Variación de la conductividad eléctrica del medio acuoso por inmersión de granos de cacao CCN-51 con diferentes índices de fermentación.
- Loor-Solórzano, R. G., Amores-Puyutaxi, F. M., Vasco-Medina, S. A., Quiroz-Vera, J. G., Casanova-Mendoza, T. d. J., Garzón-Catota, A. I., . . . Rodríguez-Zamora, G. A. (2019). INIAP-EETP-800 'AROMA PICHILINGUE', NUEVA VARIEDAD ECUATORIANA DE CACAO FINO DE ALTO RENDIMIENTO. *Revista fitotecnia mexicana*, 42(2), 187-189.
- Loor, M. C. V., & Zambrano, Z. C. D. (2020). *Efecto de los porcentajes de mucílagos de dos variedades de cacao y Goma Xanthan en las características fisicoquímicas de un néctar Calceta: ESPAM MFL*.
- Loor, R. G., Risterucci, A. M., Courtois, B., Fouet, O., Jeanneau, M., Rosenquist, E., . . . Lanaud, C. (2009). Tracing the native ancestors of the modern *Theobroma cacao* L. population in Ecuador. *Tree Genetics & Genomes*, 5(3), 421-433. <https://doi.org/10.1007/s11295-008-0196-3>
- Loor Solórzano, R. G., Sotomayor Cantos, I. A., Jiménez Barragán, J. C., Tarqui Freire, O. M., Rodríguez Zamora, G. A., Casanova Mendoza, T. d. J., & Quijano Rivadeneira, G. C. (2018). *INIAP-EETP-800 e INIAP-EETP-801 Nuevos Clones de Cacao Fino y de Aroma con alto Rendimiento*. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5240/1/INIAPBEETPP436.pdf>
- López-Báez, W. (2018). Efectos del encalado en suelo ácido cultivado con café (*Coffea arabica* L.) en la reserva de la biósfera el Triunfo, Chiapas, México. *Agro Productividad*, 11(4).
- López, A. (2011). Paquete tecnológico cacao (*Theobroma cacao* L.). *Programa estratégico para el desarrollo rural sustentable de la región sur-sureste de México: Trópico Húmedo*.
- Medina, J. D. L. C., Vargas, O. M. A., & Coronel, D. A. O. A. (2010). *CACAO: Operaciones Poscosecha*. <https://www.fao.org/3/au995s/au995s.pdf>
- Melo, P. A. (2019). Influência de diferentes níveis de sombreamento sobre o desenvolvimento de mudas de cacao (*Theobroma Cacao*) com e sem molhamento no município de Tomé-Açu/PA.
- Mihai, R. A., Landazuri Abarca, P. A., Tinizaray Romero, B. A., Florescu, L. I., Catană, R., & Kosakyan, A. (2022). Abiotic Factors from Different Ecuadorian Regions and Their Contribution to Antioxidant, Metabolomic and Organoleptic Quality of *Theobroma cacao* L. Beans, Variety “Arriba Nacional”. *Plants*, 11(7), 976. <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/7/976>
- Motamayor, J. C., Risterucci, A.-M., Lopez, P. A., Ortiz, C. F., Moreno, A., & Lanaud, C. (2002). Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity*, 89(5), 380-386.
- Müller, M. W., & Gama-Rodrigues, A. C. (2007). Sistemas agroflorestais com cacaueiro. *Ciência, tecnologia e manejo do cacaueiro. CEPLAC, Ilhéus*, 246-271.
- Novita, A. (2019). Cuktivation of Cocoa (*Theobroma cacao*). *Kumpulan Buku Dosen*, 1(1).
- Paredes, A. M. (2003). Manual de cultivo del cacao. *Manual. Peru: Ministerio de Agricultura*.
- Quesada, C., Lloyd, J., Anderson, L., Fyllas, N., Schwarz, M., & Czimczik, C. (2011). Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. *Biogeosciences*, 8(6), 1415-1440.

- Quiroz Vera, J. G., Mestanza Velasco, S. A., Parada Vera, N. C., Morillo Velasteguí, L. E., Samaniego Maigua, I. R., & Garzón Catota, A. I. (2021). Catálogo de Cultivares de Cacao en Ecuador.
- Rada, F., Jaimez, R., Garcia-Nuñez, C., Azócar, A., & Ramirez, M. (2005). Water relations and gas exchange in *Theobroma cacao* var. Guasare under periods of water deficit. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 22(2), 112-120.
- Rincón, Y. (2017). *Así es la fascinante fecundación de la flor de cacao*. <https://vivaelcacao.com/asi-es-la-fascinante-fecundacion-de-la-flor-de-cacao/>
- Rosas, P. G., Puentes, P. Y. J., & Menjivar, F. J. C. (2017). Relação entre o pH e a disponibilidade de nutrientes para cacau num entissol da Amazônia colombiana. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(3), 529-541.
- Sadeghian, S. (2016). La acidez del suelo una limitante común para la producción de café.
- Silva Neto, P. J. d. (2001). *Sistema de produção de cacau para a Amazônia brasileira*.
- Sinagap. (2016). *Boletines Zonales Integrales y Temáticos - Zona 7. Ministerio de Agricultura, Machala – Ecuador*. <http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/edicion-impres/2016/diciembre/diciembre-16-zona-7.pdf>
- Tapia Vera, C. A., Sanchez Mora, F. D., Vásconez Montúfar, G. H., Barrera Alvarez, A. E., Mora Yela, R. V., Diaz Coronel, G. T., & Garcés Fiallos, F. R. (2021). Temporal assay of cocoa agroforestry systems in the Ecuadorian humid tropic. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.21931/RB/2021.06.04.27>
- Thomas, E., van Zonneveld, M., Loo, J., Hodgkin, T., Galluzzi, G., & van Etten, J. (2012). Present spatial diversity patterns of *Theobroma cacao* L. in the neotropics reflect genetic differentiation in Pleistocene refugia followed by human-influenced dispersal. *PLoS One*, 7(10), e47676.
- Wickramasuriya, A. M., & Dunwell, J. M. (2018). Cacao biotechnology: current status and future prospects. *Plant biotechnology journal*, 16(1), 4-17.
- Zarrillo, S., Gaikwad, N., Lanaud, C., Powis, T., Viot, C., Lesur, I., . . . Valdez, F. (2018). The use and domestication of *Theobroma cacao* during the mid-Holocene in the upper Amazon. *Nature Ecology & Evolution*, 2(12), 1879-1888. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0697-x>
- Zhu, J., Li, M., & Whelan, M. (2018). Phosphorus activators contribute to legacy phosphorus availability in agricultural soils: A review. *Science of the Total Environment*, 612, 522-537.

11. Anexos

Anexo 1. Evidencias fotográficas



Figura 1: Reconocimiento he indicaciones del área de estudio.



Figura 2: Limpieza de malezas.



Figura 3: Colocación de polisambra en las plantas de cacao clon EETP-800.



Figura 4: Recolección muestra de suelo.



Figura 5: Control de plagas.



Figura 6: Colocación de cal.



Figura 7: Medición de clorofila con el Spad.



Figura 8: Taller sobre el manejo del cultivo de cacao.

Anexo 2. Evidencias del análisis InfoStat

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DC 111 días (cm)	16	0,216	0,020	38,366

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	11158,137	3	3719,379	1,102	0,3861
Sombra	24,379	1	24,379	0,007	0,9337
Encalado	7976,723	1	7976,723	2,364	0,1501
Sombra*Encalado	3157,035	1	3157,035	0,936	0,3525
Error	40483,984	12	3373,665		
Total	51642,121	15			

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DC 0 días (cm)	16	0,221	0,026	41,689

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9513,188	3	3171,063	1,132	0,3751
Sombra	60,063	1	60,063	0,021	0,8860
Encalado	7267,563	1	7267,563	2,595	0,1332
Sombra*Encalado	2185,563	1	2185,563	0,780	0,3944
Error	33604,750	12	2800,396		
Total	43117,938	15			

Figuras 9 y 10: Análisis de varianza del diámetro de copa.

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=111,09396

Error: 2800,3958 gl: 12

Sombra	Encalado	Medias	n	E.E.
0	0	161,875	4	26,459 A
80	0	134,625	4	26,459 A
80	100	115,375	4	26,459 A
0	100	95,875	4	26,459 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=121,93594

Error: 3373,6654 gl: 12

Sombra	Encalado	Medias	n	E.E.
0	0	189,000	4	29,042 A
80	0	158,438	4	29,042 A
80	100	141,875	4	29,042 A
0	100	116,250	4	29,042 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figuras 11 y 12: Test de Tukey del diámetro de copa.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Clorofila	16	0,621	0,526	20,975

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2288,120	3	762,707	6,542	0,0072
Sombra	1204,958	1	1204,958	10,335	0,0074
Encalado	1065,206	1	1065,206	9,136	0,0106
Sombra*Encalado	17,956	1	17,956	0,154	0,7016
Error	1399,099	12	116,592		
Total	3687,220	15			

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Clorofila	16	0,000	9,658	0,822	0,0065

Figura 14: Prueba del supuesto Shapiro Wilks de la concentración de clorofila SPAD.

Figura 13: Análisis de varianza de la concentración de clorofila SPAD.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS Clorofila	16	0,272	0,090	78,170

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	147,166	3	49,055	1,496	0,2655
Tratamiento	147,166	3	49,055	1,496	0,2655
Error	393,443	12	32,787		
Total	540,609	15			

Figura 15: Prueba del supuesto Levene de la concentración de clorofila SPAD.

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=22,66806

Error: 116,5916 gl: 12

Sombra	Encalado	Medias	n	E.E.
80	0	69,375	4	5,399 A
80	100	50,938	4	5,399 A B
0	0	49,900	4	5,399 A B
0	100	35,700	4	5,399 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 16: Test de Tukey de la concentración de clorofila SPAD.

Anexo 3. Análisis general de suelo

MC-LASPA-2201-01

	INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS Panamericana Sur Km. 1, S/N Cutugagua, Tfs. (02) 3007284 / (02)2504240 Mail: laboratorio.dsa@iniap.gob.ec	
---	---	---

INFORME DE ENSAYO No: 22-0360

NOMBRE DEL CLIENTE: Gallardo Avendaño Maryuri Lizeth
PETICIONARIO: Gallardo Avendaño Maryuri Lizeth
EMPRESA/INSTITUCIÓN: Gallardo Avendaño Maryuri Lizeth
DIRECCIÓN: Padmi

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 16/05/2022
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 12:21
FECHA DE ANÁLISIS: 24/05/2022
FECHA DE EMISIÓN: 27/05/2022
ANÁLISIS SOLICITADO: SUELO 4

Análisis	Ph	N		P		S		B		K		Ca		Mg		Zn	Cu	Fe	Mn	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	Σ Bases meq/100g	MO	CO.*	Textura (%)				IDENTIFICACIÓN								
		ppm	A	ppm	A	ppm	M	ppm	B	ppm	A	ppm	A	ppm	M	A	ppm	A	ppm							A	ppm	A	%		%	Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural			
22-1335	5,57	Me	Ac	155	A	31	A	15	M	0,9	B	0,48	A	15,85	A	2,17	A	6,1	M	5,8	A	297	A	1,3	B	7,31	4,47	37,19	18,51	11	A			39	39	22	FRANCO	Gallardo Avendaño Maryuri Lizeth Muestra 1

Análisis	Al+H*	Al*	Na*	C.E.*	N. Total*	N-NO3*	K H2O*	P H2O*	Cl*	pH KCl*	IDENTIFICACION
	ppm	ppm	meq/100g		%	ppm	ppm	ppm	ppm		

OBSERVACIONES:

* Ensayos no solicitados por el cliente

METODOLOGIA USADA	
pH = Suelo: Agua (1:2,5)	P K Ca Mg = Clasi Modificado
S.B = Fosfato de Calcio	Cu Fe Mn Zn = Clasi Modificado
	B = Curstine

INTERPRETACION		
pH	Elemento	
Ac = Acido	N = Neutro	B = Bajo
LAc = Liger. Acido	LAl = Liger. Alcalino	M = Medio
PN = Prac. Neutro	Al = Alcalino	A = Alto
RC = Requiere Cal		T = Tieso (Beti)

ABREVIATURAS	
C.E. =	Conductividad Eléctrica
M.O. =	Materias Orgánicas

METODOLOGIA USADA	
C.E. =	Pasta Saturada
M.O. =	Dicromato de Potasio
Al+H =	Titración NaOH

INTERPRETACION			
Al+H, Al y Na	C.E.	M.O y Cl	
B = Bajo	NS = No Salino	S = Salino	B = Bajo
M = Medio	LS = Lig. Salino	MS = May Sal.	M = Medio
T = Tieso		A = Alto	

LABORATORISTA

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

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

* Opiniones de interpretación ,etc.que se indican en este informe constituye una guía para el cliente.

RESPONSABLE DE LABORATORIO

Figura 17: Análisis general de suelo.

Anexo 4. Certificado de traducción Abstract

CERTIFICADO DEL RESUMEN

Yo, **Maholy Katherine Morocho Merino**, portadora de la cedula de Identidad N°:1104677131. Licenciada en Ciencias de la Educación Especialidad Idioma Inglés. Certifico la traducción al idioma inglés el resumen del Trabajo de Titulación denominada: "**Rasgos fisiológicos y productivos del cacao clon EETP 800 en respuesta al sombreado y encalado**", perteneciente al señor **Andersson Eduardo Romero Castillo**, esta corresponde al texto original en español.

A la parte interesada muy atentamente,



Maholy Katherine Morocho Merino

Licenciada en Ciencias de la Educación Especialidad Idioma Inglés
Registro N° 1008-2016-1695982 SENECYT.