



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agronómica

EFFECTO DE LOS NIVELES DE SOMBRA Y FERTILIZACIÓN SOBRE VARIABLES MORFOLÓGICAS Y FISIOLÓGICAS EN CACAO (*Theobroma cacao* L.) CLON CCN51 EN LA ZONA DE EL PADMI, ZAMORA CHINCHIPE.

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

AUTOR:

Javier Enrique Rivas Cañar

DIRECTOR:

Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD.

Loja – Ecuador

2022

Certificación

Loja, 30 de marzo del 2022

Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación Integración denominado: **“EFECTO DE LOS NIVELES DE SOMBRA Y FERTILIZACIÓN SOBRE VARIABLES MORFOLÓGICAS Y FISIOLÓGICAS EN CACAO (*Theobroma cacao* L.) CLON CCN51 EN LA ZONA DE EL PADMI, ZAMORA CHINCHIPE”** previo a la obtención del título **de Ingeniero Agrónomo**, de la autoría de la estudiante Javier Enrique Rivas Cañar, con cédula de identidad Nro.**1150017810**, 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, **Javier Enrique Rivas Cañar**, 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 y 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:

Cédula de identidad: 1150017810

Fecha: 07 de diciembre de 2022

Correo electrónico: javier.rivas@unl.edu.ec

Teléfono: 0982871453

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

Yo, **Javier Enrique Rivas Cañar**, declaro ser autor/a del Trabajo de Titulación denominado: **“EFECTO DE LOS NIVELES DE SOMBRA Y FERTILIZACIÓN SOBRE VARIABLES MORFOLÓGICAS Y FISIOLÓGICAS EN CACAO (*Theobroma cacao* L.) CLON CCN51 EN LA ZONA DE EL PADMI, ZAMORA CHINCHIPE”**, como requisito para optar por 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 las 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 veintiocho días del mes de noviembre de dos mil veintidós.

Firma:



Autor: Javier Enrique Rivas Cañar

Cédula: 1150017810

Dirección: Parroquia Nambacola, Cantón Gonzanamá, Provincia de Loja

Correo electrónico: javier.rivas@unl.edu.ec

Teléfono: 0982871453

DATOS COMPLEMENTARIOS:

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

Dedicatoria

Dedicado de manera especial a mi madre Ana Lucia Cañar Riofrio y hermanas Paola Rivas y María Rivas, por su amor y apoyo incondicional en los momentos más difíciles de mi vida, su evidente apoyo económico y emocional me impulso a alcanzar esta meta muy importante.

A mis familiares, maestros y amigos.

Javier Enrique Rivas Cañar

Agradecimiento

A la Universidad Nacional de Loja, por brindarme la oportunidad de pertenecer a tan prestigiosa entidad educativa.

Un agradecimiento sincero al Dr. Santiago Cristóbal Vásquez Matute, por la guía y predisposición brindadas a lo largo de la elaboración de mi trabajo de Titulación.

Un agradecimiento sincero a mis padres Ana Cañar y Wilson Rivas, por los valores impartidos y el gran esfuerzo económico que realizaron en mi formación académica.

A mis hermanas Paola y María, por ser mi ejemplo e inspiración.

A mi compañero Byron Lapo, por brindarme su sincera amistad y ser un gran apoyo emocional en los difíciles momentos.

De manera especial a mi tío Freddy Rivas y esposa, que fueron una ayuda fundamental para poder terminar mi formación académica.

Javier Enrique Rivas Cañar

Índice de contenidos

Portada.....	i
Certificación	ii
Autoría.....	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria....	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenido	vii
Índice de figuras.....	ix
Índice de tablas	x
Índice de anexos.....	xi
1. Título	1
2. Resumen.....	2
2.1 Abstract	3
3. Introducción	4
3.1 Objetivos	5
3.1.1 Objetivo General	5
3.1.2 Objetivos específicos.....	6
4. Revisión de literatura	6
4.1 El cacao	6
4.2 Morfología y taxonomía del cacao.....	6
4.3 Condiciones agroclimáticas.....	7
4.3.1 Altura.....	7
4.3.2 Precipitación	7
4.3.3 Temperatura.....	7
4.3.4 Luminosidad	7
4.3.5 Humedad relativa.....	7
4.4 Clon CCN51	8
4.5 Factores que limitan el crecimiento de cacao.....	9
4.5.1 Sombra.....	9
4.5.2 Fertilización orgánica	9
4.5.3 Requerimientos Nutricionales	10
4.5.4 Nutrición mineral del cacao.....	11
4.6 Interacción entre los factores sombra y nutrición	13

5. Materiales y métodos	15
5.1 Ubicación	15
5.2 Establecimiento y manejo del ensayo	15
5.3 Tratamientos.....	16
5.4 Diseño Experimental	16
5.4.1 Modelo matemático	16
5.5 Metodología para el primer objetivo.....	17
5.6 Metodología para el segundo objetivo	19
6. Resultados	23
6.1 Variables Morfológicas	23
<i>Altura de la planta</i>	23
<i>Área de la sección transversal del tronco</i>	24
<i>Longitud del brote</i>	25
<i>Tasa de crecimiento absoluta (TCA)</i>	26
<i>Tasa de crecimiento relativa (TCR)</i>	27
<i>Área foliar</i>	27
<i>Índice de área foliar</i>	29
<i>Diámetro de copa</i>	30
6.2 Variables fisiológicas	30
<i>Concentración de clorofila</i>	30
<i>Densidad estomática</i>	31
<i>Estructura anatómica</i>	33
<i>Índice estomático</i>	34
<i>Análisis de pH y conductividad eléctrica del suelo</i>	34
6.3 Análisis de correlaciones entre variables	36
7. Discusión	38
8. Conclusiones	43
9. Recomendaciones	44
10. Referencias bibliográficas	45
11. Anexos	52

Índice de figuras

Figura 1. Relación entre la fertilidad del suelo, el sombreadamiento y el rendimiento	13
Figura 2. Ubicación del área de estudio	15
Figura 3. Esquema de la distribución de plantas de cacao CCN51 en campo.	17
Figura 4. Altura	23
Figura 5. Incremento de la altura	24
Figura 6. Área de sección transversal del tronco	25
Figura 7. Crecimiento de brotes	25
Figura 8. Tasa de crecimiento absoluta de la altura y del brote	26
Figura 9. Tasa de crecimiento relativa de los brotes	27
Figura 10. Curva de regresión entre el área y largo foliar	28
Figura 11. Área foliar	28
Figura 12. Índice de área foliar.	29
Figura 13. Diámetro de copa	30
Figura 14. Concentración de clorofila total	31
Figura 15. Densidad estomática	32
Figura 16. Estomas del envés de la hoja	33
Figura 17. Estructura anatómica de la hoja	34
Figura 18. Dinámica de variación del pH del suelo	35
Figura 19. Dinámica de variación de la conductividad eléctrica del suelo	36

Índice de tablas

Tabla 1. Características del Clon de cacao CCN-51	8
Tabla 2. Extracciones nutricionales de cacao	10
Tabla 3. Tratamientos con sus niveles de sombra y fertilización	17
Tabla 4. Índice estomático.....	34
Tabla 5. Correlaciones entre la variables morfológicas y fisiológicas	36

Índice de anexos

Anexo 1. Análisis de suelo realizado al inicio del ensayo.....	52
Anexo 2. Resultados del pH y conductividad eléctrica del suelo.....	53
Anexo 3. Resultados del análisis de concentración de clorofila.....	55
Anexo 4. Dosificaciones y fertilizantes utilizados en el ensayo.....	56
Anexo 5. Evidencias fotográficas	56
Anexo 6. Certificación de traducción del abstract.....	60

1. Título

EFFECTO DE LOS NIVELES DE SOMBRA Y FERTILIZACIÓN SOBRE VARIABLES MORFOLÓGICAS Y FISIOLÓGICAS EN CACAO (*Theobroma cacao* L.) CLON CCN51 EN LA ZONA DE EL PADMI, ZAMORA CHINCHIPE.

2. Resumen

El cacao (*Theobroma cacao L.*) es un cultivo tradicional y económicamente importante para el Ecuador, es el tercer producto exportable no petrolero. Zamora Chinchipe se encuentra ubicada en el posible sub-centro de origen del cacao, así mismo, este cultivo tiene gran importancia agronómica y económica para esta zona. Sin embargo, la falta de conocimiento de los colonos y el manejo poco tecnificado generan rendimientos bajos. En el cacao existen factores que limitan su crecimiento como es la fertilización y, por otro lado, se desconoce el efecto real de la sombra sobre el crecimiento y rendimiento de este cultivo. Por este motivo, el objetivo de esta investigación es de evaluar el comportamiento morfológico y fisiológico del cultivo de cacao clon CCN51 (*Theobroma cacao L.*) bajo el efecto de dos niveles de sombra y dos niveles de fertilización en la provincia de Zamora Chinchipe. El estudio fue realizado en la Estación Experimental “El Padmi” de la Universidad Nacional de Loja, utilizando una plantación ya establecida de un año y ocho meses de edad con un diseño completamente al azar (DCA) de cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Se midieron las variables morfológicas: altura, longitud de brote, el área de la sección transversal del tronco, área e índice foliar y diámetro de copa, también se midieron variables fisiológicas como: pH y conductividad eléctrica, concentración de clorofila y densidad e índice estomático. El efecto de los tratamientos se lo evaluó mediante ANOVA y test de medias (Tukey) ($p=0,05$). En los resultados obtenidos se observa que el factor fertilización causó un efecto significativo en el pH, conductividad eléctrica, longitud y TCA de los brotes, mientras que el factor sombra causó un efecto en la densidad e índice estomático, por otra parte, la interacción sombra-fertilización tuvo un efecto en la concentración de clorofila.

Palabras clave: *Theobroma cacao L.*, fertilización, sombra, radicación solar, crecimiento, productividad.

2.1 Abstract

Cocoa (*Theobroma cacao* L.) is a traditional and economically important crop for Ecuador, it is the third non-oil exportable product. Zamora Chinchipe is located in the possible sub-center of origin of cocoa, likewise, this crop has great agronomic and economic importance for this area. However, the lack of knowledge of the colonists and the low-tech management generate low yields. In cocoa there are factors that limit its growth such as fertilization and, on the other hand, the real effect of shade on the growth and yield of this crop is unknown. For this reason, the objective of this research work is to evaluate the morphological and physiological behavior of the cocoa clone CCN51 (*Theobroma cacao* L.) under the effect of two levels of shade and two levels of fertilization in the province of Zamora Chinchipe. The study was carried out at the "El Padmi" Experimental Station of the National University of Loja, using an already established plantation of one year and eight months of growth with a completely randomized design (DCA) of four treatments and four repetitions. Morphological variables were measured: height, shoot length, trunk cross-sectional area, leaf area and index, and crown diameter. Physiological variables such as pH and electrical conductivity, chlorophyll concentration, density, and stomatal index were also measured. The effect of the treatments was evaluated using ANOVA and means test (Tukey) ($p=0.05$). In the results obtained, it is observed that the fertilization factor caused a significant effect on the pH, electrical conductivity, length and TCA of the shoots, while the shade factor caused an effect on the density and stomatal index, on the other hand, the shadow interaction - fertilization had an effect on chlorophyll concentration.

Keywords: *Theobroma cacao* L, fertilization, shade, solar radiation, growth, productivity.

3. Introducción

En el mercado mundial cacaotero, aproximadamente se comercializan en promedio 5,18 millones de tn de cacao, gran parte de la demanda proviene de África, aunque se debe resaltar que en América latina en los últimos diez años se ha dado un incremento del 11% en la producción de cacao (Wuellins, 2019). El continente que más produce a nivel mundial es África con el 73% de la oferta mundial siendo Costa de Marfil su país más representativo, posterior le sigue Asia con 10 % de la producción mundial con Indonesia como su país más representativo y por ultimo América latina con 17% de la producción mundial con Brasil y Ecuador como los países más representativos con una producción de 235 y 138 mil tn (Arvelo et al., 2016). En Ecuador, el cacao tiene gran importancia económica y tradicional, actualmente es el tercer producto exportable no petrolero y se encuentra cultivado en un 20% de la superficie total agrícola nacional, 50% de esta superficie es de cacao nacional o también denominado de “fino aroma”, con un rendimiento de 0.33 tn/ha (Zambrano & Chávez, 2018).

La mayor producción cacaotera ecuatoriana se encuentra en la región costera, las provincias más productoras son: Guayas, Los Ríos, Cañar y Manabí. Según las evaluaciones nacionales de germoplasma se muestra que el genotipo más cultivado por sus características productivas es la variedad CCN51 (65%), posterior la variedad Nacional o fino de aroma (35%) por sus características organolépticas (Moreno-Miranda et al., 2020).

El cacao ecuatoriano CCN51 es un clon denominado como cacao fino, pero no de aroma ya que no posee ningún sabor floral, esto debido a las condiciones climáticas del país que resultan ser diferentes a los demás países productores (Enriquez, 2010). A pesar de tener una alta productividad su sabor es más amargo de lo normal, por lo que no es muy cotizado para la exportación en lo que respecta a calidad y sabor. Pero es muy apetecido ya que posee gran cantidad de manteca, por lo que es muy valorado en el mercado de derivados de cacao (Ramón Ramón, 2015).

Gran parte de la productividad del cacao ecuatoriano se ve afectado por la baja fertilidad del suelo, por lo tanto, abordar temas de nutrición al cultivar cacao son un factor determinante a la hora de aumentar su calidad y productividad; sin embargo, a pesar de esta problemática, la mayoría de productores de cacao fertilizan empíricamente al no tener los conocimientos adecuados sobre

una nutrición balanceada y por lo general los productores no realizan ninguna fertilización en toda la etapa de productiva del cacao (Snoeck et al., 2016).

En la Región Amazónica Ecuatoriana se siembra cacao en las provincias de Napo, Pastaza, Morona Santiago y Zamora Chinchipe la cual se encuentra situada en el centro de origen del cacao, no obstante los colonos no tienen mayor interés en su producción, ya que los suelos son ácidos, poseen baja fertilidad y gran contenido de metales pesados, por lo que se generan rendimientos bajos en el sector (Ramirez, 2014).

En cacao se han obtenido mejores rendimientos con la aplicación de distintas dosis de nitrógeno, potasio y fosforo aumentando la producción, de esta manera se demuestra que es rentable fertilizar en toda la etapa fenológica del cultivo (Ruales et al., 2011). Diversas investigaciones se han ejecutado en híbridos y clones, con diferentes suelos y condiciones climáticas, y con diversos tratamientos de fertilización, pero aún no es evidente la respuesta que tiene el cultivo en función al nivel de sombra que pueda tener el cultivo (van Vliet et al., 2015). Investigaciones en cacao CCN51 han reportado que se saturan en densidades de luz intensas y que no logran mantener concentraciones de clorofila altas, por lo que es necesario mantener el cultivo de cacao bajo una sombra parcial (Jaimez et al., 2008).

Por tal motivo se pretende estudiar y evaluar distintos niveles de sombra y nutrición dentro de un mismo sistema de producción, lo que conlleva realizar investigaciones sobre: morfología, fisiología, efecto de la sombra y fertilizantes, deficiencias de nutrientes y radiación solar. Con la finalidad de cumplir el propósito de la presente investigación se plantearon los siguientes objetivos:

3.1 Objetivos

3.1.1 Objetivo General

- Evaluar el comportamiento morfológico y fisiológico del cultivo de cacao clon CCN51 (*Theobroma cacao L.*) bajo el efecto de dos niveles de sombra y dos niveles de fertilización en la provincia de Zamora Chinchipe.

3.1.2 Objetivos específicos

- Analizar el efecto de distintos niveles de fertilización y sombra sobre variables morfológicas en el crecimiento de cacao.
- Determinar la influencia de dos niveles de fertilización y sombra sobre parámetros fisiológicos durante la etapa de crecimiento de cacao.

4. Revisión de literatura

4.1 El cacao

El cacao (*Theobroma cacao L.*) es un árbol leñoso nativo de regiones trópico-húmedas que van desde América Central hasta la parte norte de América del Sur (FAO, 2009). Su origen se logró comprobar mediante un análisis de ADN a varias muestras arqueológicas vegetales de cacao, confirmando el gran parentesco a los árboles colectados ya hace más de 30 años en la región amazónica de Zamora Chinchipe, por lo que se demuestra que al menos la variedad *Theobroma cacao* tiene su origen en la Alta Amazonía de Ecuador (Zarrillo et al., 2012).

4.2 Morfología y taxonomía del cacao

Reino:	Plantae
Tipo:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Malvales
Familia:	Sterculiaceae
Género:	<i>Theobroma</i>
Especie:	cacao L.

La planta de cacao es perenne, con polinización cruzada alógama, se reproduce de forma sexual mediante semillas y de forma asexual mediante esquejes (Torres, 2012). Son arboles de distintos tamaños que cuentan con un tallo principal el cual se ramifica en un verticilo de 3 a 4 ramas laterales, en algunas especies suele brotar una yema que se encuentra debajo del verticilo generando un crecimiento vertical que luego forma un nuevo verticilo de 3 o 5 ramas. En otras especies esta yema con crecimiento vertical con el tiempo produce una nueva horqueta, la cual

continúa su crecimiento hasta que el árbol alcanza el mayor desarrollo. Con el tiempo el tallo se pone erecto y crece ininterrumpidamente, sin embargo, la presencia de yemas latentes o el crecimiento desigual hace que el árbol crezca de forma irregular (Arvelo Sánchez et al., 2017).

4.3 Condiciones agroclimáticas

4.3.1 Altura

El cacao se cultiva casi desde el nivel de mar hasta los 1 400 msnm, dependiendo de cada región en relación a Ecuador. Fuera de este límite altitudinal la fisiología de las plantas de cacao se altera, afectando la productividad del cacao (López et al., 2015).

4.3.2 Precipitación

El cacao es muy sensible a deficiencias hídricas, la cantidad de agua que pierde una planta está entre los 100 y 125 mm, esta es la misma cantidad que se le debe provisionar al suelo, el promedio recomendado para cacao es de entre 1 200 a 2 500 mm de lluvia (Sarango, 2009).

4.3.3 Temperatura

La temperatura es muy importante debido a la relación que existe entre el desarrollo, floración y fructificación del cacao. La temperatura óptima anual debe ser en promedio los 25 °C (mín. 23 máx. 32 °C). Cuando la temperatura es baja el crecimiento vegetativo, floración y fructificación disminuyen (MAG Perú, 2018).

4.3.4 Luminosidad

El cacao es considerado como una planta umbrófila, es decir que requiere sombra, por lo que en plantas menores a cinco años requiere un 30% de luminosidad, conforme la planta crece y genera su copa las necesidades de luminosidad aumentan entre 50 a 75% de luminosidad, luz que principalmente es importante para realizar la fotosíntesis (López et al., 2015).

4.3.5 Humedad relativa

La humedad relativa ideal para cacao es relativamente alta, entre 70 a 80% en promedio. Para el establecimiento del cultivo después del trasplante se necesita una humedad relativa superior a 70%, humedades mayores a 85% también son perjudiciales ya que estimulan la presencia de plagas y enfermedades, sobre todo si existen lluvias abundantes (López et al., 2015).

4.4 Clon CCN51

El clon CCN51 se lo denomina como un híbrido doble, hay que tomar en cuenta que solo la planta número 51 fue la que sobresalió, ya que esta obtuvo excelentes características agronómicas y sanitarias, como se muestra en el cuadro siguiente. Debido a sus excelentes características fue clonada masivamente, tanto así que el 50% de las especies cultivadas de cacao en Ecuador son de CCN51. El clon CCN51 también destaco por ser muy resistente a enfermedades como a escoba de bruja (*Monillioptera pernicioso*) y mal del machete (*Ceratocystis fimbriata*), enfermedades muy importantes en la afectación de la economía cacaotera, además en condiciones de baja humedad resulto ser tolerante a Moniliasis (*Mollioptera roreri*). Estas características genéticas asociadas a un buen manejo agronómico con buenas prácticas agrícolas, permiten que el clon aumente su potencial productivo (Montes, 2016).

Tabla 1. Características del Clon de cacao CCN-51

CARACTERISTICAS	DEFINICIÓN
Granos fermentados	> 85%
Peso del grano	> 1,40gr
% de Humedad para exportación	7%
% Cascara	11% promedio
% Manteca	54% promedio
pH	5 promedio
Color (masa)	Color claro y un ligero sabor frutal

Fuente: (Sarango, 2009)

El clon CCN51 se destaca por su alta productividad, en haciendas ecuatorianas con un manejo tecnificado se ha logrado una productividad de hasta 50 quintales por hectárea, además es auto compatible, es decir que no necesita de una polinización cruzada para su producción, como es el caso en otros clones. Este clon es precoz ya que su producción suele iniciarse a los 2 años de edad, además es una planta con tallo erecto y de poca altura por lo que reduce significativamente los gastos de producción en podas, cosecha y mantenimiento. Presenta un índice de 8 mazorcas por libra de cacao seco, un índice de 1,45 gr. por semilla fermentada y seca, y un índice de 45 semillas por mazorca (Manuel Paspuel, 2018).

4.5 Factores que limitan el crecimiento de cacao

4.5.1 Sombra

Al cultivo de cacao se lo considera una planta umbrófila, ya que por lo general se ha observado que su crecimiento se da bajo árboles y no a plena exposición del sol debido a problemas con plagas, enfermedades y plantas arvenses, generando alta mortandad. Para un crecimiento normal la planta requiere de un 30 a 40% de luminosidad total, la sombra tiene funciones que afectan a la fisiología como reducir la radiación y aireación perjudiciales para la planta (López et al., 2015).

La sombra en cacao permite regular su tasa fotosintética, crecimiento, demanda de agua y nutrientes, la incidencia de plagas y enfermedades, así también la productividad del cultivo. Por ejemplo, en lugares con baja fertilidad se incrementa la sombra para atenuar la demanda de nutrientes deficitarios (Somarriba, 2002).

Investigaciones en cacao CCN51 han reportado que se saturan a densidades de flujo fotónico que comprenden entre 400 a 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, intensidades que constituyen entre 25 y 30 % de la radiación máxima en un día despejado y donde las tasas máximas de asimilación de CO_2 no sobrepasan entre 6 a 7 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Estas investigaciones comprueban la necesidad de mantener el cultivo de cacao bajo una sombra parcial, tanto en etapa de crecimiento como de producción (Jaimez et al., 2008). Por otro lado la poca tolerancia que tienen las plantas a la radiación elevada, dan como resultado mayor promedio de vida para las hojas, 450 días para plantas bajo sombra y 250 días para plantas a plena exposición solar (Paredes et al., 2018).

4.5.2 Fertilización orgánica

La materia orgánica es un factor que favorece la nutrición del suelo y las plantas de cacao. La cantidad existente en el suelo influye en las condiciones biológicas y físicas de las plantas. Además, favorece a que el suelo no presente erosión, ni compactación favoreciendo la aireación de las raíces. Otro factor muy importante es que la materia orgánica constituye el alimento de los microorganismos existentes en el suelo, los cuales participan de manera activa en el desarrollo del suelo. El producto que se obtiene de la descomposición de la materia orgánica es el humus, el cual es una muy buena fuente de nutrientes como calcio, magnesio y potasio, incrementado la fertilidad del suelo y la vida microbiana encargada de descomponer la materia orgánica (Paredes, 2009).

La materia orgánica en cuanto a las propiedades químicas, aumenta las reservas de elementos nutritivos para las plantas y favorece a un mejor intercambio catiónico, así mismo ayuda a mantener un pH óptimo para la asimilación de los macronutrientes Nitrógeno y Fosforo, generando en crecimiento equilibrado (Ortiz et al., 2011).

En el caso del cacao una muy buena práctica de reincorporación de la materia orgánica es la integración de los residuos de las plantas como es la hojarasca, que contribuyen de forma esencial en la alimentación del suelo y de las plantas mismas, mineralizada de forma directa a través de la humificación. La hojarasca reincorporada suele ser una muy buena forma de nutrición para las plantas, pero si el suelo es pobre y existe una baja actividad microbiana que descomponga esta materia orgánica, no suele ser de gran ayuda ante esta situación, por lo que es necesario realizar correcciones al suelo para aportar de suficientes nutrientes a las plantas (López et al., 2015).

4.5.3 Requerimientos Nutricionales

La extracción de nutrientes en cacao se incrementa rápidamente durante los primeros cinco años después de haber realizado la siembra y luego de su establecimiento manteniendo una tasa de absorción durante la vida útil de la plantación. Por lo general, el potasio (K) es el nutriente más absorbido por el cacao, posterior el nitrógeno (N), calcio (Ca) y magnesio (Mg). En promedio al cosechar una tonelada de semillas de cacao extrae 35 Kg de N, 10 kg de P₂O₅, 50 Kg de K₂O, 13 Kg de CaO y 150 Kg de MgO. Además la planta también extrae nutrientes al momento de construir el cuerpo del árbol (López et al., 2015).

Tabla 2. Extracciones nutricionales de cacao desde el estado de plántula hasta la producción.

Estado del cultivo	Edad de la planta (meses)	Requerimiento Nutricionales – Kg/ha (promedio)						
		N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn
Vivero	5-12	2,4	0,6	2,4	2,3	1,1	0,04	0,01
Establecimiento	28	136	14	156	113	47	3,9	0,5
Inicio de producción	39	212	92	321	140	71	7,1	0,9
Plena producción	50-87	438	48	633	373	129	6,1	1,5

Fuente: Leiva (2013)

Antes de realizar la aplicación de fertilizantes se debe realizar un previo análisis de suelo, esto nos permitirá conocer el estado nutricional del suelo, así como conocer la posibles

correcciones que se deban realizar, para garantizar un buen desarrollo de la plantación (Alvarado, 2016).

4.5.4 Nutrición mineral del cacao

4.5.4.1 Macronutrientes

Los macronutrientes son esenciales y se necesitan en grandes cantidades, los cuales deben ser aplicados generalmente cuando los suelos son pobres en nutrientes y deficientes, debido a la extracción de nutrientes de los cultivos durante el tiempo. Dentro de los macronutrientes necesarios para el crecimiento de los cultivos están los nutrientes: Nitrógeno, Fosforo y Potasio (FAO, 2002).

a) Nitrógeno

Es un nutriente esencial para un buen crecimiento de la planta, necesario para la síntesis de clorofila, sobre todo muy importante para el proceso fotosintético y para los componentes de las vitaminas y sistemas de energía de la planta (Sarango, 2009).

El clon CCN51 presenta una buena eficiencia agronómica en la absorción del nitrógeno por lo que significa que por cada kilogramo de nitrógeno aplicado se obtiene un incremento en el rendimiento de la almendra (Puentes-Páramo et al., 2014). Investigaciones en plantas de cacao indican que existe una alta respuesta en la fertilización de N a plena exposición solar, debido a la alta tasa fotosintética que se produce, reflejando altos rendimientos a través del tiempo, resultando ser muy rentable (Uribe et al., 2011).

b) Fósforo

Estudios realizados por Novoa et al. (2018) indican que el fósforo debe administrarse de forma correcta a sus requerimientos, ya que las plantas al encontrarse con una deficiencia tienden a presentar baja formación de hojas debido a que el P juega un papel importante en los procesos energéticos, así mismo las hojas que logran formarse suelen presentar clorosis. Por otra parte, el exceso de fósforo en plantas de cacao genera que los contenidos de clorofila disminuyan, ya que la capacidad fotosintética esta relacionada con el contenido de P y N.

Investigaciones hechas por Patiño et al. (2019) indican que el mayor desempeño del P en cacao CCN51 se logra mediante el efecto del encalado, así mismo la mayor eficiencia del uso del

fósforo depende de la humedad presente en el suelo, ya que es un macronutriente que se mueve a través del proceso de difusión del pH y también depende del tamaño y morfología del sistema radicular de la planta.

c) Potasio

El Potasio es absorbido por la planta como K^+ , la mayor concentración se encuentra en el jugo celular, su principal función es intervenir en los procesos metabólicos y catalíticos de la planta. Funciona en el día uniéndose a compuestos orgánicos que intervienen en el metabolismo vegetal, pero al llegar la noche estos compuestos orgánicos dejan de funcionar dejando libre el potasio. Por lo general las hojas más jóvenes y tejidos meristemáticos son los que más contienen este compuesto (J. Guerrero, 2012).

El potasio en el cacao es el responsable del aumento del tamaño de las almendras, generando una mejor calidad en las cosechas (Manuel Paspuel, 2018). Además López et al. (2015) comenta que el elemento más demandado por las plantas de cacao es el K y que después de la siembra de las plantas de cacao en los primeros cinco años la absorción de K se incrementa de forma considerable, luego tiende a estabilizarse para permanecer en la misma tasa de absorción por el resto de su periodo de vida.

4.5.4.2 Micronutrientes en cacao

La nutrición de cacao resulta ser muy importante para que el cultivo tenga un desarrollo morfológico y fisiológico adecuado, esta nutrición estará determinada por la edad y requerimientos nutricionales del cultivo. Por lo que en la mayoría de programas de fertilización se le da mucha importancia a los macronutrientes (N, P, K, Ca), dejando en segundo plano a los micronutrientes (Zn, Fe, Cu, Mo, Mn, B), aunque se requieran en menores cantidades son esenciales para varias funciones en el correcto desarrollo del cultivo y en el caso de que se presente cualquier deficiencia ocasiona un decrecimiento en su productividad (Intagri, 2022).

La importancia que tienen los microelementos en el cacao se basa en que: sin el azufre no podrían formarse las proteínas, el calcio es el principal constituyente de las estructuras de los tabiques celulares, el molibdeno, el manganeso y el zinc tienen gran participación en los procesos enzimáticos, químicos y bioquímicos, el magnesio es de vital importancia para el aprovechamiento de la energía lumínica, el boro es fundamental para la polinización y fecundación ya que permite

el crecimiento del tubo polínico, dando paso a la fecundación y formación de los granos de cacao (Macias, 2022).

Cedeño y Vera (2017) reportaron que una fertilización balanceada de micro y macro nutrientes reduce gran cantidad de frutos enfermos y disminuye considerablemente la cantidad de afectación de la escoba de bruja. Por otra parte, Kouadio et al. (2017) demostraron que la aplicación de boro de forma foliar redujo significativamente el número de frutos afectados por cocoa swollen shoot virus (CSSV) e incremento la densidad foliar de las plantas de cacao. Minyaka et al. (2018) reportaron que fertilizar con sulfato de magnesio ayuda a adquirir cierta tolerancia a *Phytophthora*. Por lo que demuestra que una nutrición adecuada con micro y macro nutrientes incrementa la resistencia de las plantas de cacao a ciertos problemas fitosanitarios.

4.6 Interacción entre los factores sombra y nutrición

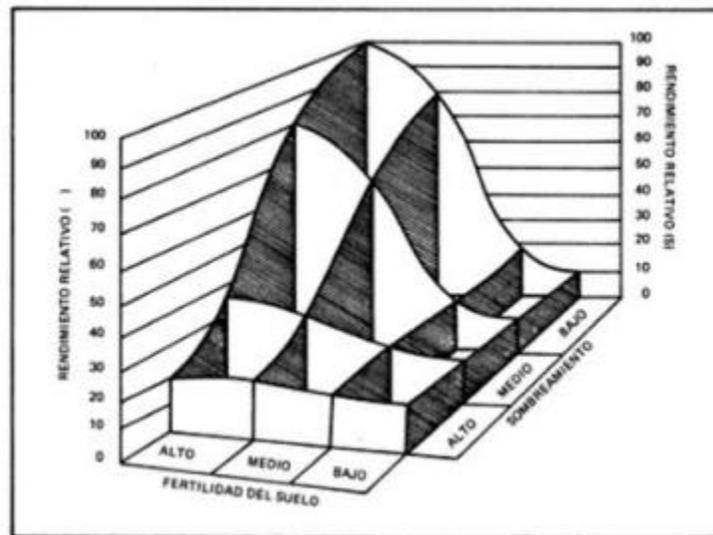


Figura 1. Relación entre la fertilidad del suelo, el sombreado y el rendimiento de cacao. Adaptado de Alvim (1977) y Enríquez (1985).

Investigaciones realizadas en cacao sugieren que existe una fuerte interacción entre el sombreado que se les da a los cultivares de cacao con la fertilidad y la productividad de las plantas. En la Figura 1 se puede observar interacción entre la luminosidad, fertilidad y productividad, pudiendo observar que bajo una sombra intensa las plantas aun con una buena fertilidad, no se logra obtener una buena cosecha. Esto nos indica que aplicar fertilizantes en una plantación muy sombreada no es recomendable, por otra parte, plantaciones con poco

sombreamiento y buena fertilidad logran obtener mejores rendimientos. Por lo general es recomendable alrededor del 50% para un desarrollo óptimo de las plantas, esto puede variar según cada región (López et al., 2015).

El grado de sombra influye en la respuesta del cacao al fertilizante, la productividad aumenta cuando existe fertilización sin la presencia de sombra, este efecto depende del grado de sombra que no siempre se suele cuantificar. Al fertilizar con NPK aumentan los rendimientos en cacao, sin embargo, al establecerse plantas con mucha sombra los rendimientos seguirán siendo bajos, independientemente si se aplican o no fertilizantes. Cuando las plantas son jóvenes necesitan al menos algo de sombra para que la fertilización sea efectiva, pero una vez que las plantas han alcanzado su madurez la efectividad de la fertilización aumenta con la ausencia de la sombra (van Vliet et al., 2015).

Al existir niveles altos de intensidad lumínica existe una mayor concentración de clorofila, incrementando los niveles de proteínas y nitrógeno en las hojas, aumentando la concentración de cloroplastos y generando un mejor metabolismo de las plantas (Agudelo-Castañeda et al., 2018). La clorofila es uno de los pigmentos más abundantes en las plantas, favorece esencialmente a la fotosíntesis por medio de la captación de energía lumínica, por ende, se espera que a mayor concentración de clorofila se obtengan mayores rendimientos de cacao gracias a la fotosíntesis, como se ha demostrado en otras especies (Héctor Ardisana et al., 2018).

5. Materiales y métodos

5.1 Ubicación

El ensayo se realizó en la Estación Experimental “El Padmi” de la Universidad Nacional de Loja, ubicado en la parroquia “Los Encuentros” perteneciente al cantón Yanzatza, de la provincia de Zamora Chinchipe. Ubicado a 3° 44’ 47,424” de Latitud Sur y a 78° 37’ 10,537” de Longitud Oeste; la estación posee una extensión de 102,95 ha., y está a una altitud entre 775 y 1150 msnm. El clima es cálido y templado, este clima es considerado Cfb (clima templado húmedo) según la clasificación climática de Köppen-Geiger. La temperatura media anual es de 19.3 °C. y la precipitación promedio es de 1856 mm (*Climate-Data.Org*, 2021).

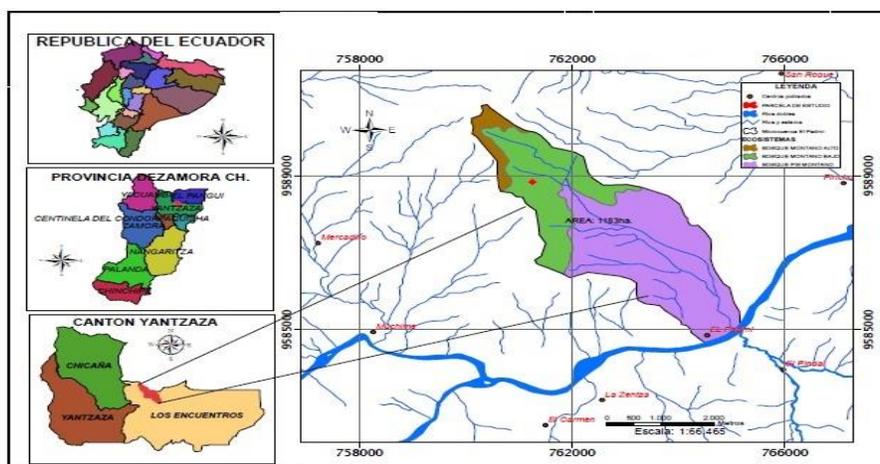


Figura 2. Ubicación del área de estudio (Estación Experimental El Padmi - UNL).

5.2 Establecimiento y manejo del ensayo

Se utilizarán plantas de cacao clon CCN51 ya establecidas con una edad aproximada de un año 8 meses con una densidad de siembra de 3,5 x 4m. 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. El ensayo consta de dos etapas: aplicación de tratamientos y registro de variables morfológicas y fisiológicas. Antes de aplicar los tratamientos se realizó un análisis de suelo (Anexo 1) con el fin de realizar correcciones de nutrientes en el suelo y así aplicar los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas de cacao.

5.3 Tratamientos

En el ensayo se evaluaron dos factores, el efecto de la sombra y fertilización en cacao, durante el lapso de 5 meses (mayo-septiembre 2021), con un rango de 20 días aproximadamente entre toma de datos. El factor sombra ya se encontraba establecido en las plantaciones y se consiguió por medio de una malla de sarán, ésta tuvo dos niveles: 0 % de intercepción de la radiación solar es decir a plena exposición solar y el otro nivel con 80 % de capacidad de interceptar la radiación solar a través de la malla de sarán.

El factor fertilización tuvo dos niveles: el primero se trató de plantas que recibieron fertilización y el segundo plantas que no recibieron fertilización. Para la evaluación del factor fertilización se realizó un análisis de suelo (Anexo 1), para aplicar correcciones de nutrientes deficitarios en el suelo y así poder suplir los requerimientos nutricionales del cultivo. Posteriormente, se hizo cálculos de dosificación de fertilización según los requerimientos nutricionales para la fase de establecimiento del cultivo, los cuales fueron: N 136 kg/ha - P 14 kg/ha - K 156 kg/ha - Mg 47 kg/ha - Ca 113 kg/ha. Las dosificación y corrección, así como los fertilizantes utilizados se encuentran en el Anexo 4.

5.4 Diseño Experimental

Se trata de un Diseño Completamente Al azar (DCA) con arreglo bifactorial y está estructurado de la siguiente manera:

Unidad experimental: Una planta de cacao clon CCN51

Tratamientos: Cuatro tratamientos (2 niveles de sombra y 2 niveles de nutrición)

Factor A: Sombra (2 niveles)

Factor B: Nutrición (2 niveles)

Número de repeticiones: Cuatro repeticiones

Número de unidades experimentales: 15 UE

5.4.1 Modelo matemático

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

Y_{ij} : Variable de respuesta

μ : Media poblacional

α : Efecto del factor sombra

- β : Efecto del factor nutrición
 $(\alpha\beta)_{ij}$: Efectos producidos por la interacción entre el factor A y el factor B
 ε_{ij} : Error experimental

Diseño experimental en campo

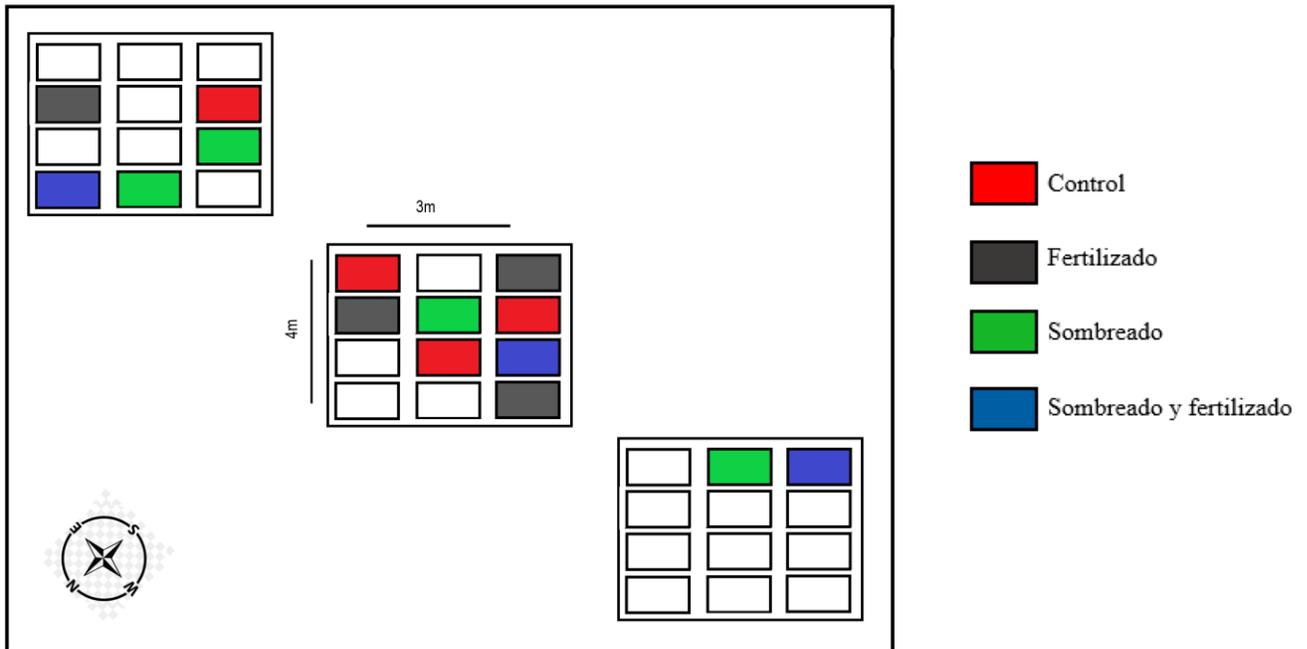


Figura 3. Esquema de la distribución de plantas de cacao CCN51 en campo.

Los tratamientos empleados se describen en la tabla 3 y como se encuentran distribuidos en campo se observan en la figura 3.

Tabla 3. Tratamientos con sus niveles de sombra y fertilización aplicados en el ensayo.

Tratamiento	Nombre del Tratamiento	Sombra (%)	Fertilización (%)
T1	Control	0	0
T2	Fertilizado	0	100
T3	Sombreado	80	0
T4	Sombreado y fertilizado	80	100

5.5 Metodología para el primer objetivo

Analizar el efecto de distintos niveles de fertilización y sombra sobre variables morfológicas en el crecimiento de cacao.

Para el cumplimiento del primer objetivo se evaluó las variables que se mencionan a continuación, y se construyó una base de datos para posteriormente realizar sus respectivos análisis estadísticos.

Altura de la planta

Este indicador se midió en centímetros cada 20 días con un flexómetro desde la base de la planta hasta su ápice, se midió esta variable en todas UE (Unidad experimental).

Área de sección transversal del tronco ASTT

Se midió el diámetro del tronco con la ayuda de un calibrador o pie de rey, a cinco centímetros del suelo para el portainjerto y a tres centímetros sobre el sitio de injerto de la planta (Bareta) de todas las plantas. Estas mediciones se las realizó en cm² a todas la UE dos veces, la primera al inicio del ensayo y la segunda al final del ensayo.

Longitud de brote

Se seleccionó y se etiquetó dos brotes por planta posicionados en el tercio medio de la altura de la planta para medir su crecimiento longitudinal en centímetros con una cinta métrica. Esta medición se la hizo a todas las UE.

Tasa de crecimiento absoluta (TCA)

A los brotes marcados en la longitud de brotes, se determinó la TCA para observar el incremento de su longitud por unidad de tiempo mediante la siguiente fórmula:

$$TCA = \Delta L / \Delta.$$

Δ = Incremento

L = Longitud

Tasa de crecimiento relativa (TCR)

A los brotes marcados en el cálculo de la longitud de brotes, se determinó la TCR para determinar el incremento en unidad de tamaño, por unidad de tiempo de los brotes, se usa la siguiente formula:

$$TCR = 1 / Li * \Delta L / \Delta t$$

Li= Longitud inicial

ΔL = Incremento longitud

Δt = Incremento tiempo

Área foliar e índice de área foliar

Para el área foliar se tomaron en cuenta las ecuaciones foliares ajustadas al largo y ancho de las hojas de cacao clon CCN51, realizadas por Espinoza (2021) en el periodo de evaluación agosto – diciembre, en estudios de interacción sombra-nutrición de cacao del mismo macroproyecto de cacao de la Universidad Nacional de Loja ubicado en el sector del Padmi. Con base a estas ecuaciones se consideró que el largo de la hoja se ajustaba mejor al análisis de datos, generando datos más exactos del área foliar. Y se empleó la siguiente ecuación:

$$AF = 0.3146x 1.9241$$

Para determinar el IAF se sumó el AF de todas las hojas de la planta y se la dividió para la superficie que ocupa en el suelo.

$$IAF = AF \text{ de la planta } \times \text{ superficie del suelo}$$

Estas variables fueron tomadas al final del ensayo y se las realizo en todas las plantas.

Diámetro de copa o dosel

Para determinar el diámetro de copa se realizaron dos mediciones en cruz a todas las UE, una horizontal y la otra en vertical, siendo el valor promedio, de ambas el que se considera como diámetro de copa, cuya fórmula utilizada fue:

$$Dc = \frac{Dc1 + Dc2}{2}$$

Dc1= Diámetro de copa horizontal

Dc1= Diámetro de copa vertical

5.6 Metodología para el segundo objetivo

Determinar la influencia de dos niveles de fertilización y sombra sobre parámetros fisiológicos durante la etapa de crecimiento de cacao.

Para el cumplimiento del segundo objetivo se realizó la medición de las variables que se describen a continuación y se construyó una base de datos para su posterior análisis estadístico.

Concentración de clorofila

Para determinar el contenido de clorofila se utilizó el protocolo de análisis de clorofila descrito por Ródes y Collazo (2006). Se tomó muestras de hojas totalmente funcionales, se las envolvió en papel humedecido y se guardaron en una hielera para su transporte al Laboratorio de Análisis Químico de la Universidad Nacional de Loja, las cuales posteriormente se lavó, secó y cortó en secciones, desechando la nervadura.

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

A los tubos de ensayo se los envolvió en papel aluminio para evitar la penetración de los rayos solares finalmente se secó el resto de las muestras de los tubos, para posteriormente filtrar y centrifugar. Para cuantificar los pigmentos se tomó 1 mL del sobrenadante de cada uno de los extractos y se diluyó hasta 10 mL con el solvente utilizado, después se midió en un espectrofotómetro, para las longitudes de onda se siguió la metodología de Mackinney (1941) en donde para medir la cantidad de absorbancia se utilizó 645 y 663 nanómetros, de igual manera se hará uso de las fórmulas siguientes:

$$C_a \left(\frac{ml}{g} \right) = \frac{[(12,7 * A_{663}) - (2,69 * A_{645})] * vol. del extracto(ml)}{peso de la hoja (g)}$$

$$C_b \left(\frac{ml}{g} \right) = \frac{[(22,9 * A_{645}) - (4,68 * A_{663})] * vol. del extracto(ml)}{peso de la hoja (g)}$$

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

Este indicador se medirá una sola vez al finalizar el ensayo y se expresará en ml/g.

Densidad estomática

Se aplicó la técnica de la impronta, la cual consistió en utilizar una fina capa de esmalte transparente industrial de nitrocelulosa para uñas en un área pequeña del lado abaxial de la hoja, después que el esmalte se seque, la capa se removió y montó en un portaobjetos. Se tomó dos muestras de cada hoja en la región de la parte central entre las venas secundarias, posterior se observó las estomas en el microscopio OLYMPUS CX31 con un aumento de 10X y mediante el uso del programa Micro Cam 5.7 se capturaron imágenes de tres campos por muestra. Para el conteo de estomas, se marcó en cada microfotografía un área de 120 000 μm^2 y se contaron las estomas de dicha área, el resultado final se expresó en estomas mm^{-2} .

Estructura anatómica de las hojas

Al concluir el ensayo se determinó el grosor de la lámina foliar, epidermis y mesófilo, realizando cortes transversales de 5mm a tres repeticiones de los cuatro tratamientos, siguiendo los procesos de fijación, deshidratación, infiltración, seccionamiento y tinción; para posterior observación en el microscopio óptico Olympus CX31 conectado a una cámara microscópica, en donde se tomaron fotografías con el software Micro Cam 5.7.

A los cortes realizados se los colocó en un frasco con 3ml de alcohol al 90% dejando reposar por un lapso de 32 a 42 horas, luego se sacó los cortes del alcohol y se los enjuago con agua destilada durante 5 min, para posterior colocación de los cortes en una placa de porcelana con hipoclorito de sodio al 5,25 % hasta que cause su decoloración, luego se las enjuago con agua destilada durante 5 min, como último proceso se realizó la tinción de los cortes mediante NaCl 8 gr y KCl 0,2 gr + Toluidina a 0,075%/1000 ml durante 1 min, seguido se procedió a observar en el microscopio.

Índice estomático

El Índice estomático se calculó a partir de la siguiente fórmula:

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

Donde:

I.E= Índice estomático

Es= Número de estomas

Ep= Número de células epidérmicas

Determinación de pH del suelo y conductividad eléctrica

Para esta variable cada 20 días se procedió a tomar muestras de suelo de alrededor de unos 120 gr de cada una de las plantas, con un total de 15 muestras, estas fueron recolectadas del lugar más cercano posible de la planta, se removió de manera superficial el suelo y se procedió a tomar la muestra de suelo. Luego se procedió a secar las muestras, una vez estuvieron bien secas, se tamizaron las muestras tratando de obtener 80 gr de suelo tamizado, posterior a esto se etiquetó en fundas de plástico y se llevó todas las muestras al laboratorio de suelo de la Universidad Nacional de Loja donde fueron analizadas químicamente por el equipo técnico laboratorista.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis bifactorial de varianza (ANOVA), para determinar si existían o no diferencias significativas entre los tratamientos. Cuando existió diferencias entre tratamientos, se aplicó pruebas de comparaciones múltiples de Tukey o LSD de Fisher para determinar que tratamiento obtuvo mejores resultados. Además, para determinar si existía una relación entre variables cuantitativas, se realizó pruebas de correlaciones de Pearson. Todos los análisis señalados, se realizaron con el Software InfoStat Versión 2020. Para graficar los datos estadísticos se utilizó el programa GraphPAD 8.0.

6. Resultados

El periodo de evaluación resulto muy corto para evaluar los objetivos planteados en el ensayo, debido a esto, los resultados en su mayoría no resultan ser significativos. A continuación, los resultados encontrados en el ensayo:

6.1 Variables Morfológicas

Altura de la planta

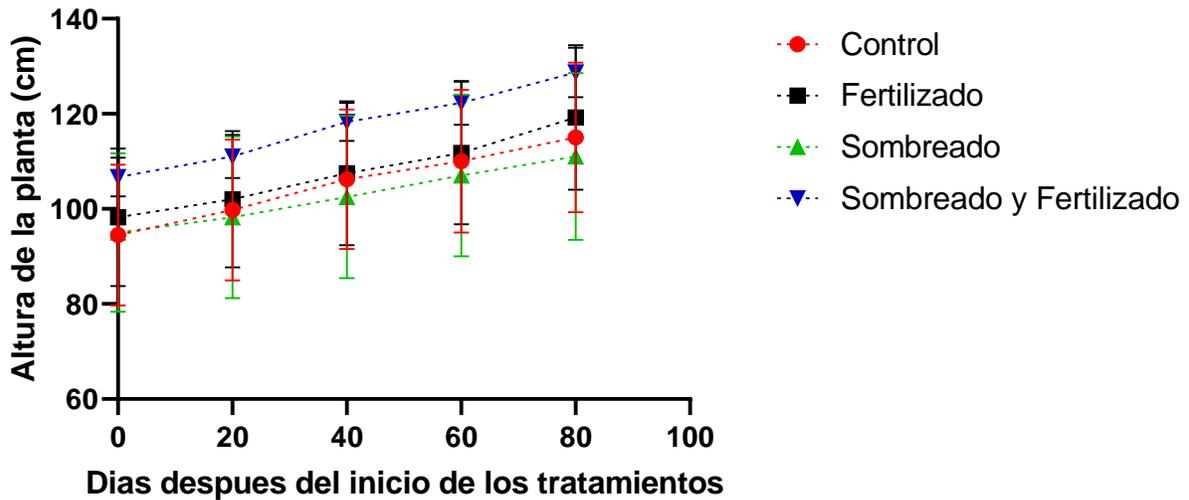


Figura 4. Crecimiento de plantas de cacao CCN51 desde los 0 a 80 días después del inicio de los tratamientos. Barras verticales representan el error estándar.

Las plantas de cacao CCN51, manifestaron un crecimiento continuo (Figura 4), dando como resultado que los factores fertilización y sombra, así como su interacción no afectaron significativamente ($p > 0,05$) a los cuatro tratamientos, no obstante, el tratamiento que obtuvo el mayor crecimiento a los 80 DDT fue el Sombreado y fertilizado (T4) con una altura de 128,67 cm y el tratamiento que presentó el menor tamaño fue el Sombreado (T3) con una altura de 111 cm.

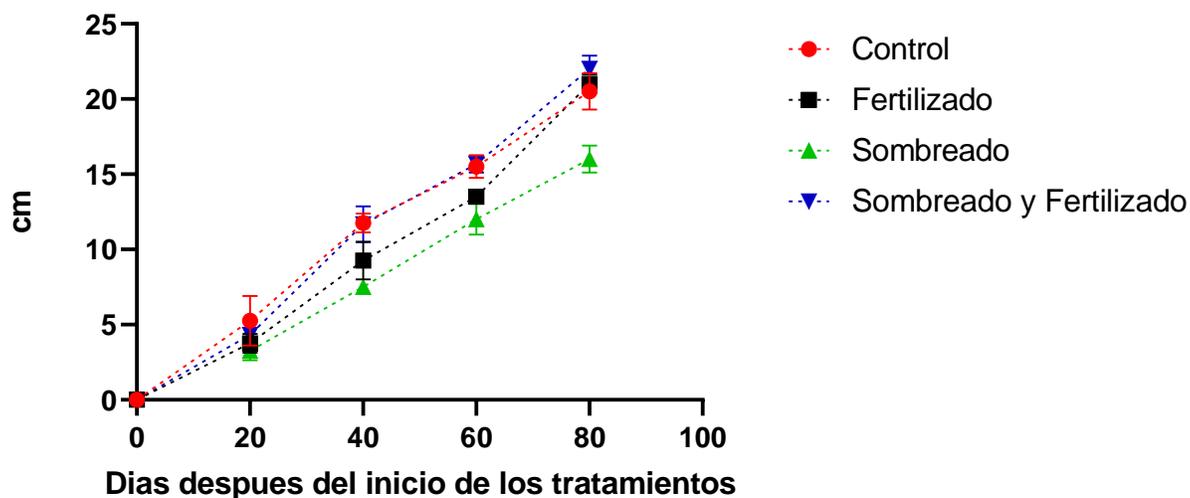


Figura 5. Incremento de la altura de las plantas de cacao CCN-51 desde los 0 a 80 días después del inicio de los tratamientos. Barras verticales representan el error estándar.

De la misma manera en la dinámica de incremento de altura (Figura 5), los factores fertilización y sombra, así como su interacción no afectaron significativamente ($p > 0,05$) a los cuatro tratamientos, sin embargo, a los 80 DDT el tratamiento que obtuvo el mayor incremento en altura fue el Sombreado y fertilizado (T4) con un valor de 22 cm y el tratamiento con el menor incremento fue el Sombreado (T3) con 16 cm.

Área de la sección transversal del tronco

El área de la sección transversal del tronco (ASTT) para el Porta Injerto (ASTT P.I.) y para la Baretta (ASTT B.) (Figura 6), luego de haber sido evaluadas al inicio y al final del ensayo, resultó que los factores fertilización y sombra, así como su interacción no afectaron significativamente ($p > 0,05$) a los cuatro tratamientos. Sin embargo, el tratamiento con el menor ASTT del portainjerto tanto al inicio como al final del ensayo, fue el tratamiento Fertilizado (T2) con un valor de 4,78 cm² al inicio y 9,30 cm² al final, y el tratamiento con la mayor ASTT del portainjerto tanto al inicio como al final del ensayo fue el Sombreado y fertilizado (T4) con un valor de 7,42 cm² al inicio y 12,39 cm² al final; mientras que el menor ASTT de la baretta fue el tratamiento fertilizado (T2) con un valor de 2,97 cm² al inicio del ensayo y 6,35 cm² al final del ensayo, y el tratamiento con el mayor ASTT de la baretta al final del ensayo fue el sombreado y fertilizado (T4) con un valor de 11,47 cm².

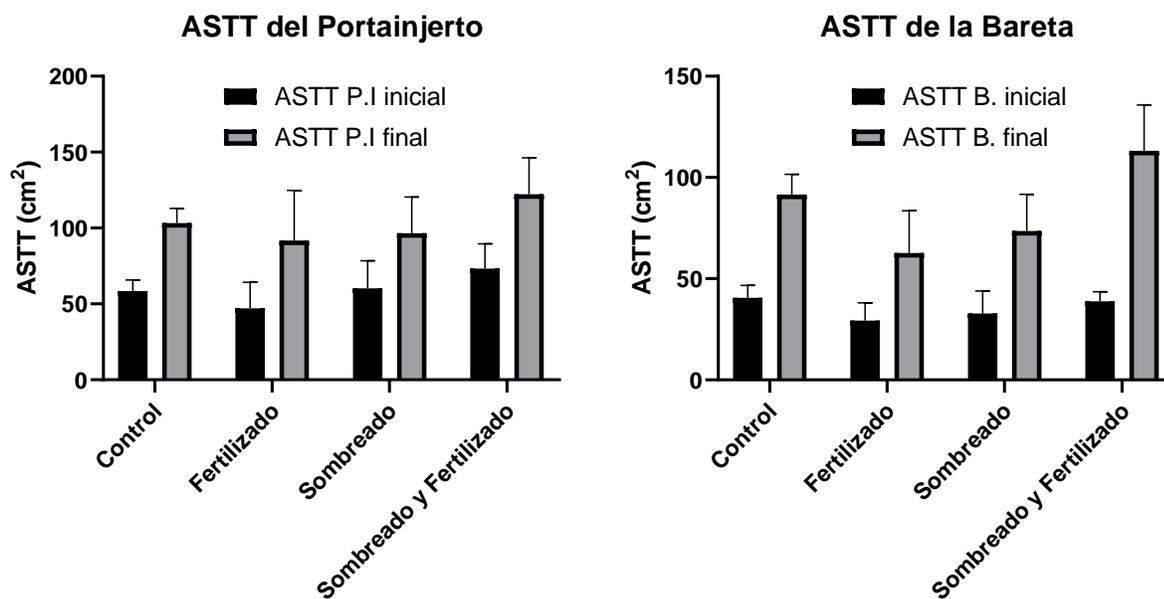


Figura 6. Área de sección transversal del tronco del Porta Injerto (ASTT P.I) y de la Baretta (ASTT B.) de cacao CCN-51 bajo cuatro tratamientos. Barras verticales representan el error estándar.

Longitud del brote

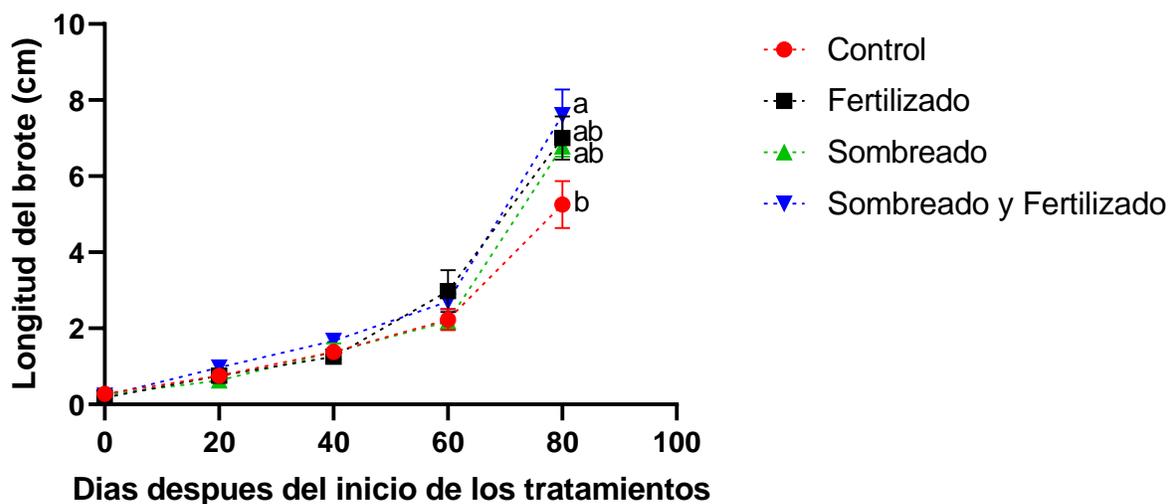


Figura 7. Crecimiento de brotes desde los 0 a 80 días después del inicio de los tratamientos (DDT). Barras verticales representan el error estándar. Letras distintas indican que existen diferencias estadísticas significativas.

En la longitud de brotes de los tratamientos se encontraron diferencias significativas únicamente a los 80 DDT en su longitud (Figura 7), dando como resultado que el factor fertilizante influye de manera significativa (p -valor = 0,0383; p -valor < 0,05) en el crecimiento de los brotes, la mayor longitud la alcanzaron los tratamientos que recibieron fertilización que son el fertilizado (T2) con 7 cm y el tratamiento sombreado y fertilizado (T4) con 7,60 cm, y la menor longitud la obtuvieron los tratamientos que no recibieron fertilización, el control (T1) con 5,25 cm y el tratamiento sombreado (T3) con 6,78 cm.

Tasa de crecimiento absoluta (TCA)

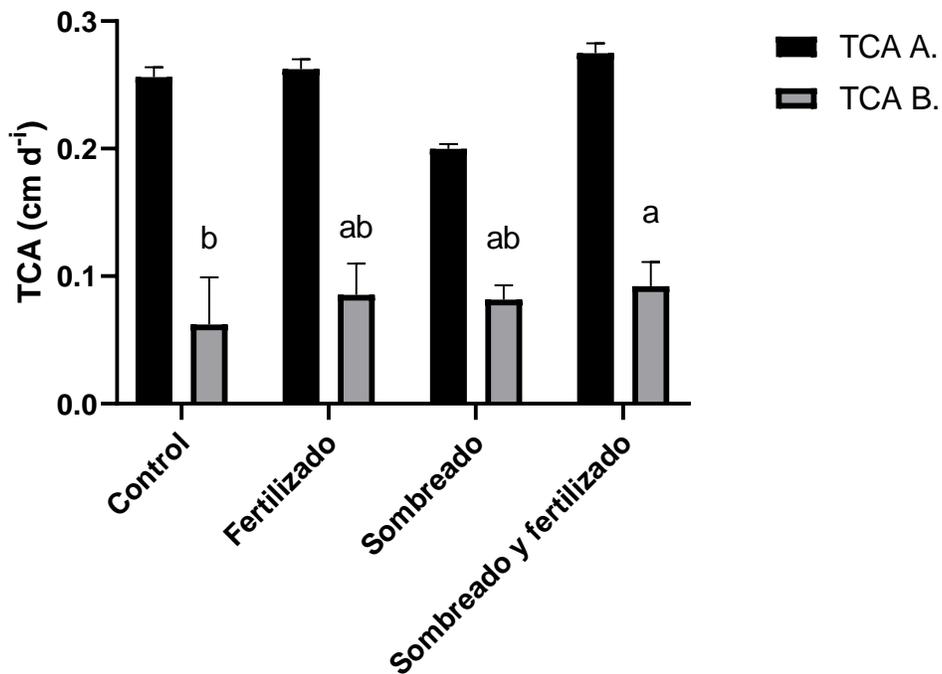


Figura 8. Tasa de crecimiento absoluta de la altura (TCA A.) y del Brote (TCA B.) en cacao CCN51 bajo cuatro tratamientos. Barras verticales representan el error estándar. Letras distintas indican que existen diferencias estadísticas significativas.

La tasa de crecimiento absoluta de la altura (TCA A.) a los 80 DDT no presentó diferencias significativas, dando como resultado que los factores fertilización y sombra, así como su interacción no afectaron significativamente ($p > 0,05$) a los cuatro tratamientos, sin embargo, el tratamiento que presentó la menor TCA fue el Sombreado (T3) (Figura 8) con un valor de 0,20 cm dia^{-1} y el tratamiento con la mayor TCA fue el Sombreado y fertilizado (T4) con un valor de

0,28 cm día⁻¹. Por otra parte, la tasa de crecimiento absoluta del brote (TCA B.) si presentó diferencias significativas, dando como resultado que la aplicación de fertilización influye significativamente (p-valor = 0,0324; p-valor < 0,05) en la tasa de crecimiento absoluta de los brotes, la mayor TCA del brote la alcanzaron los tratamientos recibieron fertilización que son: el tratamiento Fertilizado (T2) con un valor de 0,085 cm día⁻¹ y el Sombreado y fertilizado (T4) con un valor de 0,092 cm día⁻¹; y la menor TCA del brote la obtuvieron los tratamientos que no recibieron fertilización que son: el Control (T1) con un valor de 0,062 cm día⁻¹ y el Sombreado (T3) con un valor de 0,082 cm día⁻¹.

Tasa de crecimiento relativa (TCR)

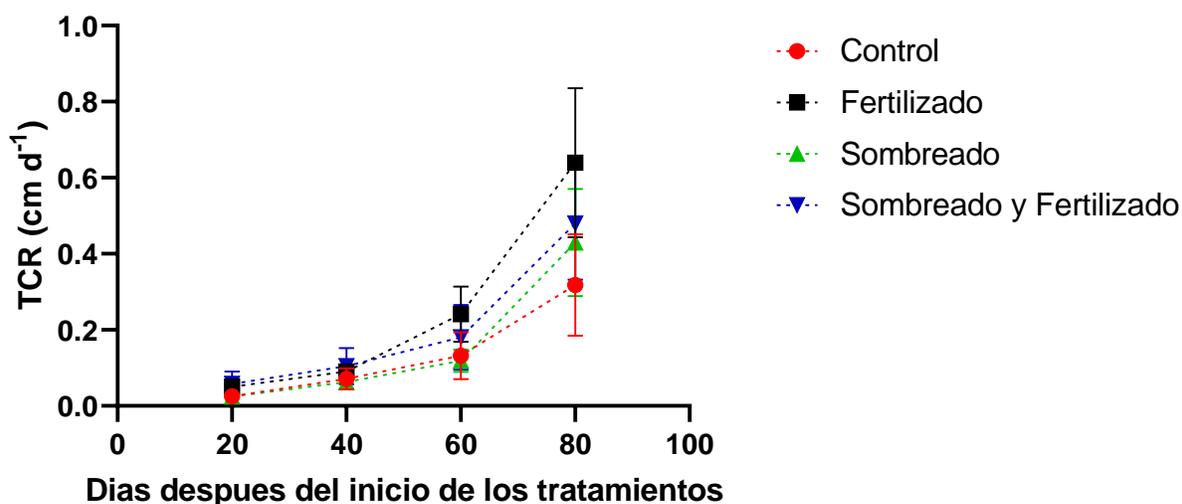


Figura 9. Tasa de crecimiento relativa de los brotes en cacao CCN51 desde los 20 a 80 DDT, bajo cuatro tratamientos. Barras verticales representan el error estándar.

A los 80 DDT no se encontraron diferencias significativas en tasa de crecimiento relativa (TCR) de los brotes, dando como resultado que los factores fertilización y sombra, así como su interacción no afectaron significativamente ($p > 0,05$) a los cuatro tratamientos, no obstante, el tratamiento que obtuvo la mayor TCR fue el Fertilizado (T2) con un valor de 0,64 cm día⁻¹ y el tratamiento con la menor tasa de crecimiento fue el Control (T1) con un valor de 0,32 cm día⁻¹.

Área foliar

Para calcular el área foliar, se logró utilizando una medida alométrica basada en un análisis de regresión del largo y ancho de la hoja, en donde el modelo que mejor se ajustó al clon CCN51 fue la ecuación del largo de la hoja (Figura 11), con un valor de $R^2 = 0,942$, que significa que existe un 94% de variación del área foliar debido al efecto del largo de la hoja.

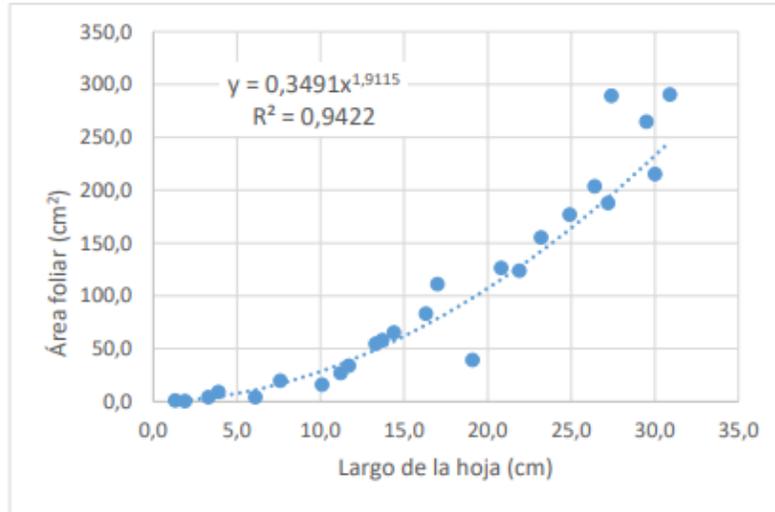


Figura 10. Curva de regresión entre el área y largo foliar en cacao CCN51. Elaborado por Espinoza, (2021)

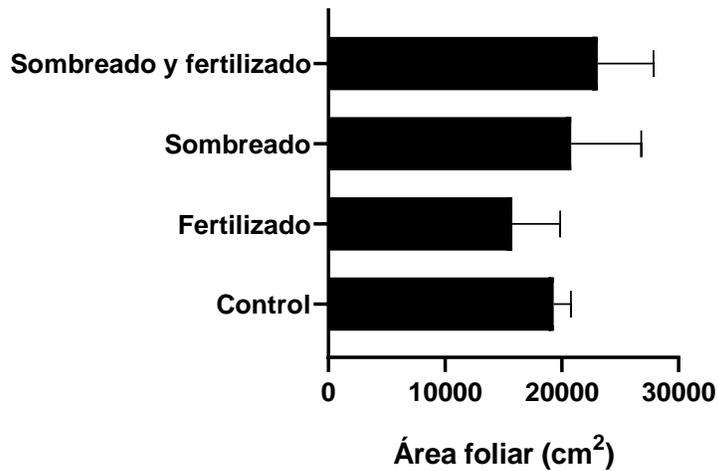


Figura 11. Área foliar (AF) del cacao clon CCN-51 bajo cuatro tratamientos. Barras verticales representan el error estándar.

No existieron diferencias significativas con respecto al área foliar ($p = 0,7094$; $p > 0,05$), dando como resultado que los factores fertilización y sombra, así como su interacción no afectaron significativamente a los cuatro tratamientos, pero se observa (Figura 11) que el tratamiento que obtuvo mayor área foliar fue el Sombreado y Fertilizado (T4) con un valor de $23\ 080,70\text{ cm}^2$, seguido el tratamiento Sombreado (T3) con un valor de $20\ 821,38\text{ cm}^2$, y el tratamiento con la menor área foliar fue el Fertilizado con un valor de $15\ 757,49\text{ cm}^2$.

Índice de área foliar

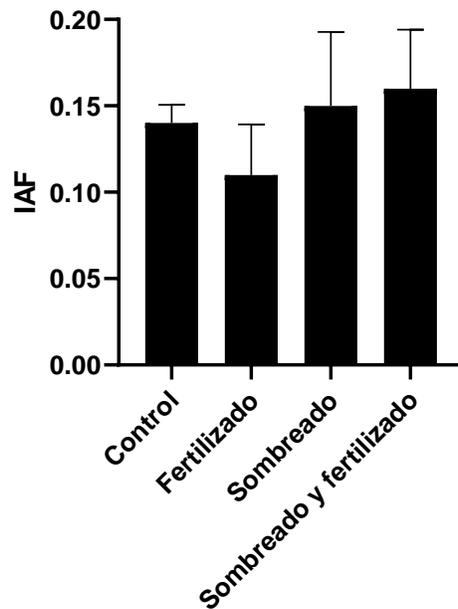


Figura 12. Índice de área foliar (IAF) del cacao clon CCN-51 bajo cuatro tratamientos. Barras verticales representan el error estándar.

El Índice de área foliar al ser datos que evalúan la misma variable el largo de la hoja, prácticamente tiene la misma tendencia (Figura 12) que el área foliar, dando como resultado que los factores fertilización y sombra, así como su interacción no afectaron significativamente ($p = 0,7094$; $p > 0,05$) a los cuatro tratamientos, de la misma manera al área foliar, los tratamientos que obtuvieron los mayores valores fueron el Sombreado y Fertilizado (T4) con un valor de 0.16, seguido el tratamiento Sombreado (T3) con un valor de 0.15, y el tratamiento con el IAF mas bajo lo obtuvo el Fertilizado (T2) con un valor de 0.11, debido a que las plantas en el inicio del ensayo eran las más pequeñas.

Diámetro de copa

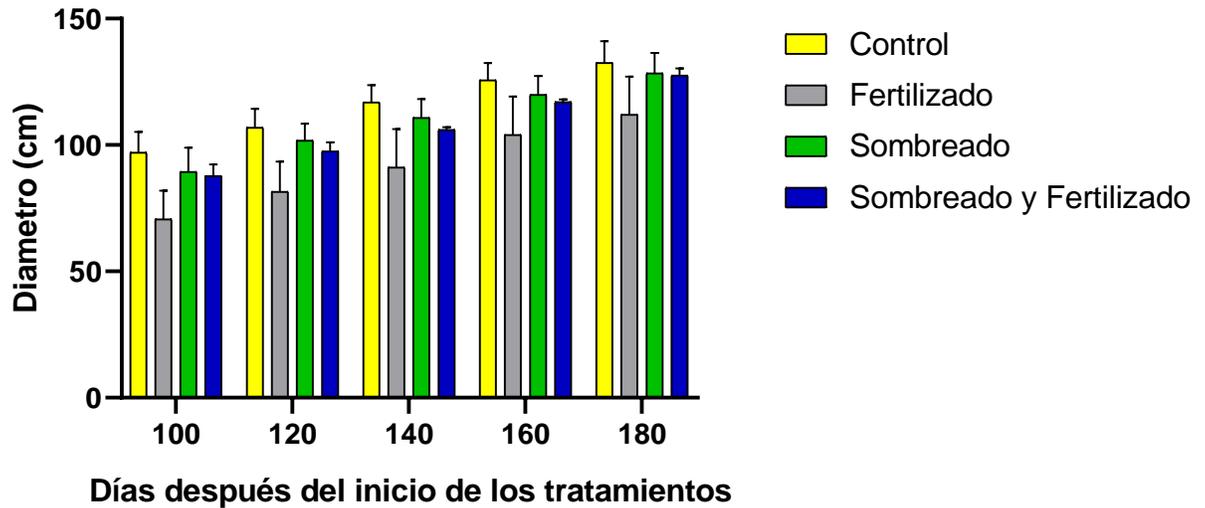


Figura 13. Diámetro de copa de cacao clon CCN51 bajo cuatro tratamientos. Barras verticales representan el error estándar.

Al realizar las mediciones de diámetro de copa se observa (Figura 13) que, desde los 100 hasta los 180 DDT no existieron variaciones ya que el crecimiento del dosel se mantuvo constante, por ende, los factores fertilización y sombra, así como su interacción no afectaron significativamente ($p > 0,05$) a los cuatro tratamientos, sin embargo, se observó que desde los 100 hasta los 180 DDT el tratamiento Control (T1) obtuvo los valores más altos tanto al inicio con 97 cm, como al final con 132,5 cm; y el tratamiento que obtuvo los valores más bajos fue el Fertilizado (T2) tanto al inicio con 70,63 cm, como al final con 112 cm.

6.2 Variables fisiológicas

Concentración de clorofila.

A los 180 días después del inicio de los tratamientos, la interacción entre los factores sombra y fertilización presentó diferencias significativas ($p = 0.0207$; $p < 0,05$) entre los tratamientos, resultando que la mayor concentración de clorofila (Figura 14) se obtuvo cuando interactuaban dichos factores, en el tratamiento Sombreado y Fertilizado (T4) con un valor de 85,87 ml/g y la menor concentración de clorofila total se dio cuando no interactuaban dichos

factores, como sucedió en los tratamientos: Fertilizado (T2) con un valor de 62,16 ml/g y Sombreado (T3) con un valor de 66,28 ml/g.

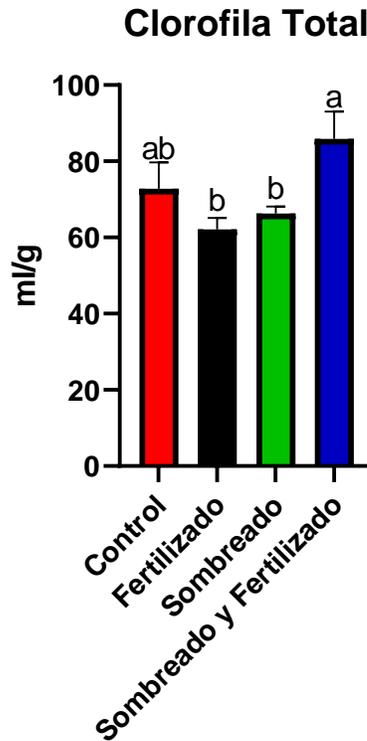


Figura 14. Concentración de clorofila total en cacao CCN51 bajo cuatro tratamientos. Barras verticales representan el error estándar. Letras distintas indican que existen diferencias estadísticas significativas.

Densidad estomática

El número de estomas mm^2 a los 180 días después del inicio de los tratamientos, muestra que el factor sombra tuvo un efecto negativo sobre los tratamientos presentando diferencias altamente significativas (p valor = 0,0085; p valor < 0,01), este resultado nos indica que cuando se aplicó sombra la densidad estomática fue menor al resto de tratamientos, como es el caso de los tratamientos: Sombreado (T3) con 792 estomas/ mm^2 y Sombreado y fertilizado (T4) con 801 estomas/ mm^2 . De la misma manera el factor fertilización tuvo un efecto significativo en los tratamientos (p valor = 0,0340; p valor < 0,05) de forma positiva, es decir que el valor más alto de densidad estomática se presentó únicamente cuando se aplicó fertilizantes, como es el caso del tratamiento Fertilizado (T2) con 915 estomas/ mm^2 , por otro lado, la interacción sombra-

fertilización no presento diferencias significativas sobre los tratamientos (p valor = 0,0655; p valor > 0,05).

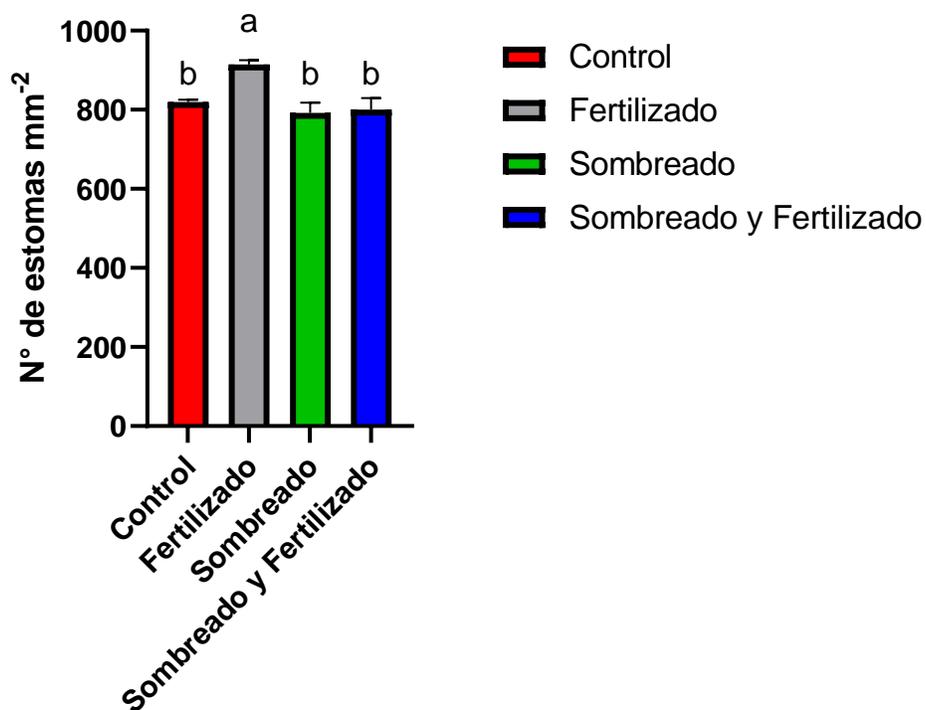


Figura 15. Densidad estomática en hojas de cacao clon CCN51 a los 180 días después del inicio de los tratamientos. Barras verticales representan el error estándar. Letras distintas indican que existen diferencias estadísticas significativas.

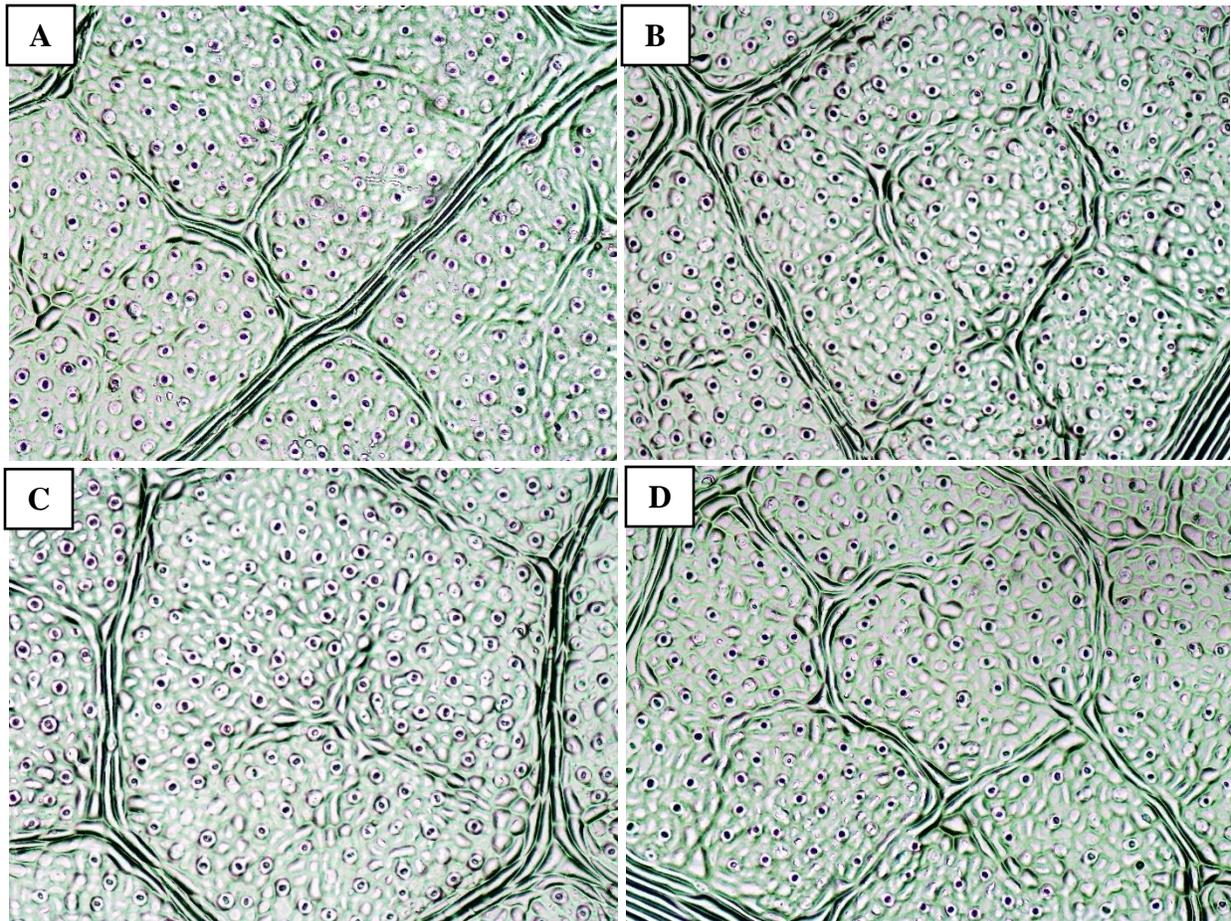


Figura 16. Estomas del envés de la hoja de cacao CCN51 observados por el microscopio Olympus CX31 objetivo 10X. **A.** Impronta del tratamiento Control (T1); **B.** Impronta del tratamiento Fertilizado (T2); **C.** Impronta del tratamiento Sombreado (T3); **D.** Impronta del tratamiento Sombreado y Fertilizado (T4).

Estructura anatómica

Se observó en el microscopio a 10X y 40X los cortes transversales de las hojas de cacao clon CCN51 expuestas a cuatro tratamientos, en donde no se observaron diferencias entre los cuatro tratamientos, es decir que la diferencia es mínima casi nula entre los tratamientos, tanto el factor sombra como el factor fertilización no causó efectos en la estructura anatómica de las hojas, no obstante se logró observar en el microscopio las siguientes estructuras anatómicas: el parénquima de empalizada presentando una forma alargada y compacta es decir sin espacios extracelulares; el parénquima lagunar presentó una forma irregular y con espacios extracelulares; la vaina fascicular y haces vasculares las cuales se encontraban recubriendo las venas de las hojas; la epidermis abaxial y adaxial, en donde la epidermis adaxial presentó un mayor tamaño que la epidermis abaxial, aunque estas están formadas por las mismas células; y por último se observó estomas ordenados en zonas intercostales o laterales.

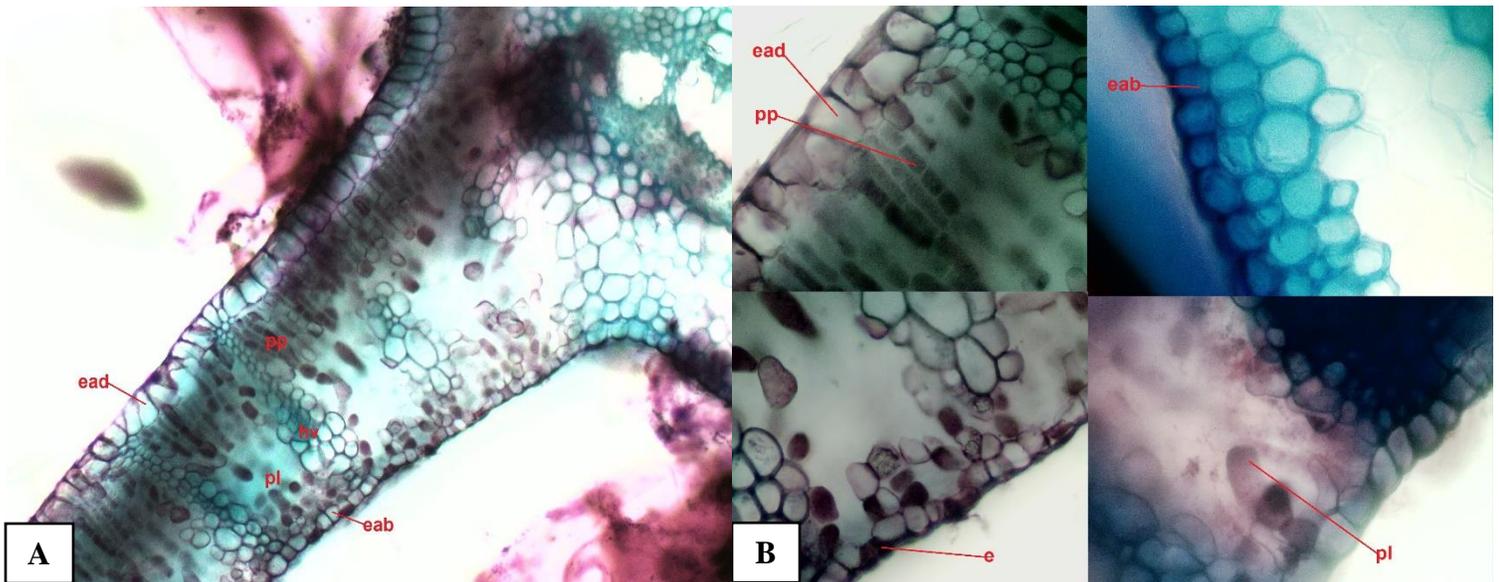


Figura 17. Estructura anatómica de la hoja de cacao clon CCN51 bajo cuatro tratamientos. **A:** Mesófilo de la hoja observado a 10X. **B:** Mesófilo de la hoja observado a 40X. En dichas imágenes se distinguen: el parénquima de empalizada (pp), parénquima lagunar (pl), epidermis adaxial (ead), epidermis abaxial (ab) y haces vasculares (hv).

Índice estomático

En la tabla 4 se muestra el índice estomático (IE), a los 180 DDT se encontraron diferencias significativas ($p = 0,0309$; $p < 0,05$) en la afectación del factor sombra, causando un efecto en los cuatro tratamientos, este resultado nos indica que la aplicación del factor sombra influye negativamente en el IE, el menor IE lo obtuvieron los tratamientos en donde se les aplico sombra como son: Sombreado (T3) y Sombreado y fertilizado (T4) con 16,63 y 16,73, respectivamente. El mayor IE lo obtuvieron los tratamientos que no se les aplico sombra como son: Fertilizado (T2) y Control (T1) con 18,40 y 17,15, respectivamente.

Tabla 4. Índice estomático en hojas de cacao clon CCN51 a los 180 DDT, C.V: coeficiente de variación.

TRATAMIENTO	Índice estomático %
Control	17,15 ab
Fertilizado	18,40 a
Sombreado	16,63 b
Sombreado y fertilizado	16,73 b
C.V	4,22

Análisis de pH y conductividad eléctrica del suelo

El análisis de pH del suelo presentó diferencias significativas ($p = 0,0229$; $p < 0,05$) con respecto a el efecto que tuvo el factor fertilización sobre los cuatro tratamientos, en la figura 18 se observa la dinámica de alteración del pH del suelo desde los 20 DDT hasta los 160 DDT, en donde

existió un efecto negativo de la fertilización, causando el decrecimiento del pH a los tratamientos Sombreado y Fertilizado (T4) que inicio con un pH de 5,4 y termino con 4,93, de la misma manera sucedió en el tratamiento Fertilizado (T2) que inicio con 5,25 y termino con 5. Los tratamientos Control (T1) y Sombreado (T3) que no recibieron fertilización alcanzaron el pH más alto con 5,30 y 5,33 respectivamente.

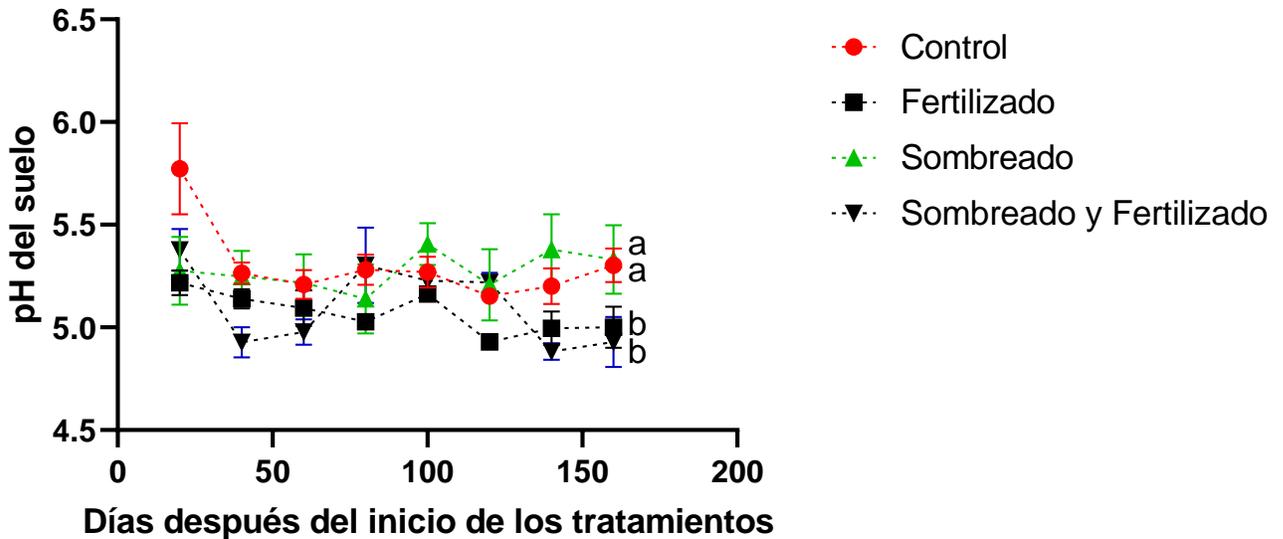


Figura 18. Dinámica de variación del pH del suelo en el cultivo de cacao clon CCN51, bajo cuatro tratamientos desde los 0 a 160 DDT. Barras verticales representan el error estándar. Letras distintas indican que existen diferencias estadísticas significativas.

La conductividad eléctrica al finalizar el ensayo presentó diferencias significativas ($p = 0,0287$; $p < 0,05$) en la afectación del factor fertilización respecto a los cuatro tratamientos, en donde a los 160DDT, los tratamientos que recibieron fertilización: Fertilizado (T2) y Sombreado y Fertilizado (T4) presentaron los valores más altos con 0,74 dS/m para ambos, y los tratamientos que no recibieron fertilización: Control (T1) y Sombreado (T3) presentaron los valores más bajos con 0,17 dS/m y 0,22 dS/m respectivamente.

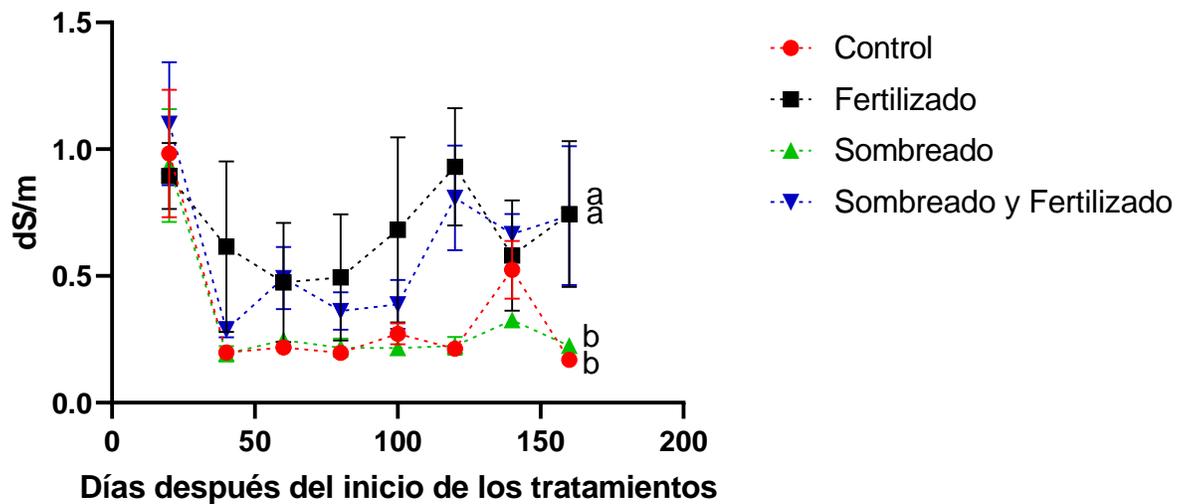


Figura 19. Dinámica de variación de la conductividad eléctrica del suelo en el cultivo de cacao clon CCN51, bajo cuatro tratamientos desde los 20 a 160 DDT. Barras verticales representan el error estándar. Letras distintas indican que existen diferencias estadísticas significativas.

6.3 Análisis de correlaciones entre variables

En la Tabla 5, se observan las correlaciones existentes entre las variables evaluadas, en donde, destacan muy significativamente de manera positiva las variables: Altura – Diámetro de copa ($r = 0.72$), de manera que, a mayor altura aumenta el diámetro de copa, por otro lado, de manera negativa destacan significativamente las variables: Diámetro de copa – Densidad estomática ($r = -0.78$), es decir que, a mayor diámetro de copa disminuye la densidad estomática. Las variables encontradas con una correlación perfecta ($r = 1$) son: Incremento de altura – TCA de altura, Longitud del brote – TCA del brote y AF – IAF.

Tabla 5. Correlaciones entre la variables morfológicas y fisiológicas

Variable 1	Variable 2	Pearson	p-valor
Altura	ASTT	0.56	0.030
	AF	0.65	0.009
	IAF	0.65	0.009
	Diámetro de copa	0.72	0.002
Incremento de altura	TCA altura	1	< 0.001
	TCR	-0.66	0.008
ASTT	AF	0.67	0.006
	IAF	0.67	0.006

	Diámetro de copa	0.62	0.014
Longitud brote	TCA brote	1	< 0.001
	AF	-0.54	0.039
TCR	IAF	-0.54	0.039
	Diámetro de copa	-0.56	0.030
AF	IAF	1	< 0.001
	Diámetro de copa	0.71	0.003
IAF	Diámetro de copa	0.71	0.003
Diámetro de copa	Densidad estomática	-0.78	0.002
	AF	-0.74	0.006
Densidad estomática	IAF	-0.74	0.006
	altura	-0.68	0.014

* Los valores representados en la tabla están descritos por un análisis de correlación de Pearson.

7. Discusión

En las variables morfológicas: altura, ASTT, TCR, AF e IAF y diámetro de copa, no existió ninguna diferencia entre los tratamientos con respecto al factor fertilización debido al previo análisis de suelo (Anexo 1), en donde se evidenció que en la zona donde se desarrollaba el ensayo, el suelo gozaba de ricos nutrientes, necesitando una mínima corrección en azufre y boro, con respecto a los requerimientos nutricionales del cacao. Recalde et al., (2012) indican que el cacao clon CCN51 obtiene una nutrición balanceada desde temprana edad a diferencia del cacao nacional, este tiende a consolidar el sumidero de nutrientes y otros compuestos metabólicos en una temprana edad, lo que significa que la planta se dedica a la acumulación de nutrientes para la floración-fructificación y no para aumentar su altura y biomasa.

De la misma manera el factor sombra no afectó a ninguno de los tratamientos, debido a que, en la zona del Padmi se encontraba en una época húmeda con gran nubosidad y poca radiación solar durante el día. En la localidad de Los Encuentros en épocas húmedas la luminosidad es del 75% de radiación solar, con nubosidad del 45% y una precipitación de 1750 mm hasta 3000 mm, considerado un bosque tropical lluvioso (Guerrero, 2014). López et al. (2015) afirman que cuando las plantas de cacao se encuentran jóvenes necesitan un sombreado denso, en donde se permita el paso de una luminosidad total del 30 a 40%, ya que las plantas no producen suficiente autosombramiento y a medida que van creciendo según su diámetro de copa, estas necesitan de 50% a 75% de luminosidad total.

La altura y TCA de las plantas de cacao clon CCN51 en todo el ensayo se mantuvieron con un crecimiento constante, sin presentar diferencias entre los tratamientos. Estos resultados son similares con el trabajo realizado por Álvarez Carrillo et al., (2016), donde se evaluó en plantas de cacao, dosis de fertilización convencional y no convencional, sin reportar diferencias significativas entre la altura de los tratamientos, en donde se afirma que la altura, es una variable que se comporta de forma irregular, ya que esta influenciada por el manejo de poda y por el genotipo. Por otra parte Carrión (2012) comenta que las plantas de CCN51 pueden llegar hasta 20 metros de altura si se la mantiene bajo una sombra intensa sin que las plantas reciban directamente la radiación solar, contrario a esto, López et al., (2015) afirma que plantas de cacao con una sombra intensa aun teniendo una buena fertilidad, no obtienen una respuesta positiva en su desarrollo, por lo que aplicar fertilizantes a una plantación muy sombreada no es recomendable,

según este autor lo recomendable es el 50% de sombreado y en el ensayo se manejó una sombra del 80% por lo que podría explicar porque entre ninguno de los cuatro tratamientos existió diferencias.

En el Área de sección transversal del tronco (ASTT), no se encontraron variaciones significativas entre los tratamientos, no obstante, el ASTT del portainjerto fue mayor al ASTT de la bareta, esto debido al crecimiento morfológico de la planta, ya que este aporta con la sección basal para que se haga el injerto con la bareta. Nuestro resultado se asemeja a la investigación realizada por Romero (2019), en donde la fertilización no afectó a el área de la sección transversal del tronco de cacao clon CCN51, ya que al ser una plantación joven (menor a 5 años), la acumulación de fotoasimilados es más lenta, especialmente en los primeros años, ya que se destinan a otros órganos de interés de la planta.

El diámetro de copa se mantuvo con un crecimiento constante desde los 100 a 180DDT, finalizando sin diferencias entre los tratamientos, antes de la evaluación de esta variable las plantas sufrieron una poda de formación, con la finalidad de que todas la plantas tengan tres ejes basales, según Barrios (2015) el diámetro de copa estará influenciada por mucho factores entre ellos la fertilización, sombra y podas. El mismo autor nos señala que una fertilización excesiva o insuficiente, podas mal realizadas y sombra intensa causa que las plantas sean débiles, con una altura y tamaño de copa deficientes.

La TCR de los brotes no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, resultado similar a el trabajo realizado por María Hernández et al., (1995) donde se analizan los parámetros e índices de crecimiento de cacao hasta la floración, en donde las plantas de cacao con edad menor a 5 años no presentaron variaciones significativas en la tasa de crecimiento relativa, debido a que la producción de fotoasimilados en esa etapa es aprovechada para la producción de hojas. El mismo autor indica que la TCR dependen netamente de la fotosíntesis y respiración, de las condiciones edafoclimáticas, tamaño de hojas y arquitectura de la planta. Cuadros & Gómez (2010) afirman que el fosforo es el principal elemento limitante en el crecimiento de cacao, cuando en un suelo se encuentra disponible una concentración mayor a 15 ppm, tiende a incrementar la TCR, en nuestro análisis de suelo (Anexo 1) realizado antes de implementar los tratamientos, el fósforo tuvo un valor de 13 ppm, dando a entender porque la TCR fue baja y sin diferencias entre los tratamientos.

El área foliar e índice del área foliar de todas las UE, no presentaron diferencias entre los tratamientos, aunque la mayor biomasa la consiguieron los tratamientos provistos de sombra, y la menor biomasa la obtuvo el tratamiento con fertilización, lo que nos da a entender que la fertilización no fue un factor influyente en los tratamientos, seguramente porque el suelo se encontraba rico en nutrientes según el análisis de suelo (Anexo 1). Resultados similares se encontraron en la investigación de Santamaría (2017) realizada en cacao, en donde se evaluó tres niveles de sombra en cacao, dando como resultado mayor área foliar cuando existe un nivel de sombra de 403,5 luxes. El mismo autor manifiesta que las plantas que se encuentran ubicadas bajo sombra, utilizan gran parte de sus recursos fotosintéticos para incrementar el área de las hojas.

La fertilización afectó a la longitud de brote y TCA del brote, presentando diferencias significativas, en donde los tratamientos que recibieron fertilización mostraron los valores más altos, lo que concuerda con los resultados de Corrales (2019), en su trabajo de investigación se aplicaron varias dosis de fertilización para medir diferencias entre el largo del brote de cacao, en donde, el mayor incremento de la longitud del brote sucedió en los tratamientos donde se aplicó fertilización a diferencia del testigo que presentó los valores más bajos. El mismo autor manifiesta que el crecimiento de los brotes es acelerado cuando existen temperaturas mayores a los 20 °C y una humedad del 80 %, de la misma manera aplicar fertilizantes edáficos y foliares generan una variabilidad en el largo de los brotes de cacao. Lo que explica porque únicamente se presentaron diferencias significativas a las 80 DDT, ya que según la página climática *Climate.org* (2021) a los 80DDT existió una temperatura media de 19.6 °C y una humedad de 87%, por lo que la aplicación de fertilizantes causó variabilidad en la longitud de los brotes. Por otra parte, la TCA mostró la misma tendencia que la longitud del brote, puesto que es el incremento de tamaño del brote por unidad de tiempo y al haber existido mayor longitud del brote en los tratamientos con fertilización, es natural que exista mayor TCA en los mismos tratamientos.

La concentración de clorofila total de las hojas de cacao, evaluada al final del ensayo, presentó diferencias en la interacción de los factores sombra y fertilización. Barker & Pilbeam (2015) afirman que más del 50% del nitrógeno foliar de la planta forma parte de las moléculas de clorofila y nos dan a entender que cuando no existe fructificación en la planta el contenido de clorofila es mayor, ya que no existe una traslocación del nitrógeno foliar hacia los frutos. Por esta razón, podría explicarse porque los tratamientos Fertilizado (T2) y Sombreado (T3) a pesar de

haber tenido fertilización y sombra, alcanzaron los valores más bajos, a diferencia del control (T1) que no contaba con ningún de estos factores y aun así alcanzo un valor intermedio, otro factor que pudo ocasionar este resultado es que los tratamientos T2 y T3 a los 140 DDT entraron en etapa de floración y a los 160 DDT a fructificación, translocando gran parte del nitrógeno foliar a los frutos, disminuyendo así la concentración de clorofila total. Por otra la investigación hecha por Piña & Arboleda (2010) corrobora nuestros resultados, en donde los contenidos de clorofila fueron mayores en plantas bajo sombra y con buena nutrición, a diferencia de las plantas a plena exposición solar, el principal síntoma observado fue una tonalidad de color más verde intenso en las hojas. El mismo autor comenta que la cantidad de clorofila existente en las hojas estará afectada por la cantidad de luminosidad, de modo que a intensidades de radiación alta las moléculas de clorofila están siendo sintetizadas y destruidas por procesos de fotooxidación.

La densidad estomática e índice estomático fueron afectados por ambos factores, de forma positiva en la fertilización y de forma negativa en la aplicación de sombra. Según Lawson (2014) la densidad estomática es un factor importante en el movimiento y evaporación del agua, así mismo, en el dinamismo de los procesos fotosintéticos, por lo tanto, en la productividad y rendimientos de las plantas, por lo que a mayor densidad estomática, existe un mayor fotosíntesis en donde la energía lumínica se convierte en química, que es aprovechada por los frutos para su crecimiento y desarrollo, entonces a mayor densidad estomática, mayor calidad y productividad de las plantas de cacao. Naizaque et al. (2014) indican que, en un gran número de especies, la densidad estomática disminuye cuando la radiación solar disminuye, en su trabajo de investigación explica que esto se debe a los procesos de transpiración de la planta. El estudio realizado por Romero et al. (2020) se asemeja a nuestros resultados ya que la densidad varia significativamente entre hojas a plena exposición solar y con sombra, siendo las que se encontraron a plena exposición solar las que presentaron mayor densidad estomática, el mismo autor nos explica que fisiológicamente esto se debe al balance energético, al existir mayor luz, mayor necesidad de disipar el calor por parte de la planta lo que implica mayor cantidad de estomas, así mismo a menor luz menor necesidad de disipar el calor, por ende menor cantidad de estomas.

Al realizar el análisis de suelo (Anexo 1) el pH del suelo fue de 5,42 considerado un pH ácido, al concluir el ensayo la fertilización causó un efecto negativo en los tratamientos. Lo que concuerda con los resultados de Patiño et al. (2021) en donde se evaluó el efecto de varias dosis

de fertilizantes en el pH del suelo, obteniendo los valores más bajos los tratamientos con una fertilización de N, P y Ca, el mismo autor explica que este resultado se debe a una acción acidificante de los fertilizantes: calcificantes, nitrogenados y fosfatados. Pero a pesar de esto el cacao clon CCN51 presenta incluso mejores rendimientos en este tipo de suelos, en la investigación realizada por Gómez (2018), se evaluaron 20 genotipos diferentes de cacao para así medir su tolerancia a la acidez del suelo, en los resultados se evidencia que el cacao clon CCN51 presento los mayores valores de eficiencia tanto morfológicamente como en productividad, en un pH promedio de 5,5.

La conductividad eléctrica (CE) al finalizar el ensayo, se vio afectada por el factor fertilización de manera positiva, contrario al pH, los tratamientos que se les aplico fertilización incrementaron su valor, según Bárbaro et al. (2005) la CE tiende a aumentar cuando existe la presencia de fertilizantes insolubles de liberación lenta, debido a que estos aportan sales al suelo causando salinidad y mayor CE. Sin embargo la respuesta va a depender de la variedad, en el caso del cacao CCN51, López et al. (2007) comentan que se adapta a valores mínimos de 0.8 dS/m y máximos de 1.6 dS/m.

8. Conclusiones

- Los factores sombra y fertilización no causaron efectos significativos en las variables morfológicas: Altura, ASTT, TCR, TCA de altura, AF e IAF y diámetro de copa, indicando que dichos factores no eran necesarios por lo menos en esta etapa de crecimiento del cultivo, bajo las condiciones agroclimáticas de la zona y fertilidad del suelo del experimento.
- La fertilización durante la etapa vegetativa, provocó un efecto significativo sobre la longitud de brote incrementado su crecimiento un 30,92 % en el tratamiento con sombra y fertilización, comparado con el tratamiento Control donde no se aplicó fertilizantes.
- La fertilización causó el descenso del pH del suelo desde los 20 DDT hasta los 180 DDT debido al efecto acidificante de los fertilizantes, por otra parte, las sales que contienen los fertilizantes incrementaron la conductividad eléctrica del suelo, a pesar de ello, estos resultados se encuentran en el rango normal para el cacao ya que no superan los 1,10 dS/m.
- La aplicación de sombra y la fertilización de forma independiente afectaron significativamente la densidad de estomas en las hojas, donde las hojas con tratamiento de fertilización tuvieron 13,44% más estomas por unidad de superficie, respecto de aquellas que fueron sombreadas.
- Se encontró un efecto significativo en la interacción sombra x nutrición sobre el contenido de clorofila de las hojas, observándose que el tratamiento sombreado + fertilizado tuvo un 27,6 % más de clorofila total que el tratamiento fertilizado.

9. Recomendaciones

- Se recomienda una completa evaluación del cultivo desde su etapa vegetativa inicial hasta su etapa de producción, para así determinar si es conveniente o no la aplicación de sombra ya sea temporal o permanente, lo cual podría variar según su etapa fenológica, de tal manera que se determinen efectos positivos y negativos en cada etapa fenológica.
- Realizar análisis bromatológicos del área foliar y de los frutos, para así determinar si existen diferencias significativas entre los tratamientos a nivel químico.
- Al iniciar la investigación realizar un análisis de suelo, para determinar una buena dosificación de nutrientes, así mismo aplicar las correcciones de nutrientes necesarias en el suelo, todo esto para suplir los requerimientos nutricionales del cultivo de cacao.

10. Referencias bibliográficas

- 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). <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i1.7341>
- Alvarado, M. C. A. (2016). Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica, en el rendimiento de un clon de cacao (*Theobroma cacao*, L) y en la fertilidad del suelo. *Instituto Tecnológico de Costa Rica*, 25–30. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/9843>
- Álvarez Carrillo, F., Rojas Molina, J., & Suárez Salazar, J. C. (2016). Contribución de esquemas de fertilización orgánica y convencional al crecimiento y producción de *Theobroma cacao* L. bajo arreglo agroforestal en Rivera (Huila, Colombia). *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 16(2). https://doi.org/10.21930/rcta.vol16_num2_art:375
- Arvelo, M., Rivera, J., Delgado, T., Maroto, S., & Higuera, I. (2016). Estado actual sobre la producción y el comercio del cacao en América. In *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)*. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/2793>
- Arvelo Sánchez, M. A., González León, D., Maroto Arce, S., Delgado López, T., & Montoya López, P. (2017). Manual técnico del cultivo de cacao Buenas prácticas para América Latina. In *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)*.
- 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*.
- Barker, A. V., & Pilbeam, D. J. (2015). Handbook of Plant Nutrition, Second Edition - Google Boeken. In *CRC Press*.
- Barrios, D. (2015). *Evaluación de podas en una plantación adulta de cacao (Theobroma cacao L.); finca bethel, malacatán, san marcos sede regional de Coatepeque*. Universidad Rafael Landívar.
- Carrión, J. (2012). *Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de cacao (Theobroma cacao L.) variedad CCN-51, Jama-Manabí*. Universidad San Francisco de Quito.

Cedeño Loor, Diógenes Alejandro; Vera Calderón, E. J. (2017). *Efectividad de varias combinaciones de nitrógeno, azufre, zinc, manganeso, boro y fitohormonas sobre el rendimiento y rentabilidad del cacao Nacional*. ESPAM MFL.

Climate-Data.org. (2021). <https://es.climate-data.org/>

Corrales-González, M., Rada, F., & Jaimez, R. (2016). Effect of nitrogen on photosynthetic parameters and yield of gerbera crop. *Acta Agronomica*, 65(3), 255–260. <https://doi.org/10.15446/acag.v65n3.49555>

Corrales, O. (2019). *Efecto de la aplicación de dos biofertilizantes en diferentes concentraciones en plantines de cacao (Theobroma cacao L.) al año de establecimiento en la estación experimental de Sapecho*. Universidad mayor de San Andrés.

Cuadros, G. A., & Gómez, R. (2010). Asociación simbiótica entre hongos micorrízicos arbusculares y el sistema radicular de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.): efecto de la formononetina y la disponibilidad de fósforo en el suelo. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 12(1). https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num1_art:217

Enriquez, G. (2010). Conferencia-Taller de Cacao, Estación Experimental Portoviejo. *INIAP*, 38–55.

Espinoza, J. (2021). Efecto de dos niveles de sombra y nutrición sobre el crecimiento y desarrollo vegetativo en cacao (*Theobroma cacao* L.) clon ccn51 en la provincia de Zamora Chinchipe. In *Universidad Nacional de Loja*. [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23934/1/Jorge Geovanny Espinosa Masa.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23934/1/Jorge_Geovanny_Espinosa_Masa.pdf)

FAO. (2002). Los fertilizantes y su uso. *Ifa*.

FAO. (2009). CACAO: Operaciones Poscosecha. *Organizacion de Las Naciones Unidas Para La Alimentacion y La Agricultura*, 1–78.

Gómez, M. (2018). *Identificación de genotipos de cacao con capacidades superiores tolerantes a acidez del suelo en vivero en la estación experimental Juan Bernito*. ICT.

Guerrero, J. (2012). Análisis de suelos y fertilización de cacao. *Universidad Nacional Agraria La*

Molina, 3–15.

Guerrero, X. (2014). *Plan estratégico de desarrollo turístico sostenible de la parroquia Chicaña del cantón Yantzaza, provincia de Zamora Chinchipe*. Universidad Técnica Particular de Loja.

Héctor Ardisana, E. F., Torres García, A., Fosado T´éllez, O., Álava Álava, J., Sancán Pin, G., & León Aguilar, R. (2018). Contenido de clorofilas totales en doce clones de cacao (*Theobroma cacao* L.). *La Técnica: Revista de Las Agrocencias*. ISSN 2477-8982, 20. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i20.1324

Intagri. (2022). *Manejo de Fertilizantes de con Micronutrientes*. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/manejo-de-fertilizantes-con-micronutrientes>

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.

Kouadio, S. G., Tienebo, E.-O., Kouadio, K. T., Kouamé, K. B. J., Koko, L., & Abo, K. (2017). Foliar Application of Boron during Flowering Promotes Tolerance to Cocoa (*Theobroma cacao* L.) Swollen Shoot Viral Disease. *European Scientific Journal, ESJ*, 13(21). <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n21p387>

Lawson, T., Simkin, A. J., Kelly, G., & Granot, D. (2014). Mesophyll photosynthesis and guard cell metabolism impacts on stomatal behaviour. In *New Phytologist* (Vol. 203, Issue 4). <https://doi.org/10.1111/nph.12945>

Leiva, E. (2013). Aspectos para la nutrición del cacao *Theobroma cacao* L. *Biblioteca Digital. Repositorio Institucional UN*, 53(9).

López, O., Ramírez, S. I., Espinosa, S., Moreno, J. L., Ruiz, C., Villarreal, J. M., & Rojas, J. L. (2015). *Manejo agroecológico de la nutrición en el cultivo del cacao*. http://www.espacioimasd.unach.mx/libro/num7/Manejo_agroecologico_de_la_nutricion_en_el_cultivo_del_cacao.pdf

Macias, D. (2022). *Los micronutrientes y su importancia en el cultivo de cacao (Theobroma cacao*

- L.). Universidad Técnica de Babahoyo.
- Mackinney, G. (1941). Absorption of light by chlorophyll solutions. *Journal of Biological Chemistry*, 140(2). [https://doi.org/10.1016/s0021-9258\(18\)51320-x](https://doi.org/10.1016/s0021-9258(18)51320-x)
- MAG Perú. (2018). Condiciones agroclimáticas del cultivo del cacao. *Cartilla N° 13*, 1–2.
- Manuel Paspuel. (2018). Respuesta del cacao a la aplicación del fertilizante “full cacao” en comparación con la fertilización convencional en Pangua. *Universidad Central Del Ecuador*.
- María Hernández, Adriana Casas, Orlando Martínez, J. A. (1995). Análisis y estimación de parámetros e índices de crecimiento del árbol de cacao (Theobroma bicolorH. BK) a primera floración. *Agronomía Colombiana*, 1–10.
- Marisol López, Isaura López de Rojas, L. H. (2007). Efecto de la fertilización inorgánica sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo, nivel nutricional de la planta y hongos micorrízicos arbusculares en plantaciones de theobroma cacao. *Agronomía Tropical*.
- Minyaka, E., Madina Banen, C. V., Kusznierevich, B., Doungous, O., Haouni, S., Hawadak, J., Niemenak, N., & Omokolo, D. N. (2018). Effect of MgSO₄ nutrition on Theobroma cacao susceptibility to phytophthora megakarya infection. *Plant Protection Science*, 54(2). <https://doi.org/10.17221/124/2016-PPS>
- Montes, M. (2016). “Efectos del fósforo y azufre sobre el rendimiento de mazorcas, en una plantación de cacao (Theobroma cacao L.) CCN-51, en la zona de Babahoyo. *Universidad Técnica De Babahoyo Facultad De Ciencias Agropecuarias Carrera De Ingeniería Agropecuaria Trabajo*, 10–15.
- Moreno-Miranda, C., Molina, I., Miranda, Z., Moreno, R., & Moreno, P. (2020). La cadena de valor de cacao en Ecuador: Una propuesta de estrategias para coadyuvar a la sostenibilidad. *Bioagro*, 32(3), 215–224. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7901982&info=resumen&idioma=ENG%0Ahttps://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7901982&info=resumen&idioma=SPA%0Ahttps://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7901982>
- Naizaque, J., García, G., Fischer, G., & Melgarejo, L. M. (2014). Relación entre la densidad estomática, la transpiración y las condiciones ambientales. *Revista U.D.C.A Actualidad &*

Divulgación Científica, 17(1), 115–122. <https://doi.org/10.31910/rudca.v17.n1.2014.946>

- Novoa, M. A., Miranda, D., & Melgarejo, L. M. (2018). Efecto de las deficiencias y excesos de fósforo, potasio y boro en la fisiología y el crecimiento de plantas de aguacate (*Persea americana*, cv. Hass). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2). <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.8092>
- Ortiz, F., Delgado, C., González, H., Palacio, J., Chyu, T., Cuvi, J., Delfin, H., Bautista, F., Bautista, F., & Delgado, C. (2011). Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales. In *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales*. <https://doi.org/10.22201/ciga.9786070221279p.2011>
- Paredes, N. (2009). Manual de cultivo de cacao para la Amazonía ecuatoriana. In *Manual* (Vol. 76, Issue 76).
- Paredes, N., Pico, J., Caicedo V., C., Vargas Tierras, Y. B., Alcívar, W. G., Nicolalde, J., & Tinoco. (2018). Primer congreso Internacional Alternativas Tecnológicas para la Producción Agropecuaria Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana. *INIAP*, 2–7. [https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5427/1/Sistemas Agroforestales de Cacao Revisión de Literatura Sobre el Efecto de la.pdf](https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5427/1/Sistemas%20Agroforestales%20de%20Cacao%20Revisi%20n%20de%20Literatura%20Sobre%20el%20Efecto%20de%20la.pdf)
- Piña, M., & Arboleda, M. E. (2010). Efecto de dos ambientes lumínicos en el crecimiento inicial y calidad de plantas de *Crescentia cujete*. *Bioagro*, 22(1).
- 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).
- Ramirez, T. (2014). *Situación de la producción de cacao en la provincia de Zamora Chinchipe: línea base 2009*. Enríquez, 74. http://unl.edu.ec/sites/default/files/investigacion/revistas/2014-9-5/9_articulo_de_investigacion_-_73_-_77_c2.pdf
- Ramón Ramón, A. A. (2015). Determinar el costo de una producción de cacao en el Ecuador, y elaborar el costo de producción. *UTMACH, Unidad Académica de Ciencias Empresariales, Machala, Ecuador*.
- Recalde, M., Carrillo, M., Sánchez, J., & Moreno, R. (2012). Manejo de la nutrición del cultivo de

- cacao en la región de Santo Domingo. *Tsafiqui - Revista Científica En Ciencias Sociales*, 3. <https://doi.org/10.29019/tsafiqui.v0i3.224>
- Romero-Romero, E., Sánchez, R., Sumich, J., Añino, Y. J., & Lopez, O. R. (2020). Variaciones morfométricas y densidad estomática en hojas de *Mangifera indica* bajo condiciones lumínicas contrastantes. *Tecnociencia*, 22(1). <https://doi.org/10.48204/j.tecno.v22n1a5>
- Romero, M. (2019). *Respuestas fisiológicas y morfológicas de cacao (Theobroma cacao L.) Clon ccn 51 a la fertilización con diferentes fuentes de nitrógeno*. Universidad Nacional de Loja.
- Rosa Ródes, M. C. (2006). *Manual de Practicas de Fotosíntesis*.
- Rosas-Patiño, G., Puentes-Páramo, Y. J., & Menjivar-Flores, J. C. (2019). Efecto del encalado en el uso eficiente de macronutrientes para cacao (*Theobroma cacao L.*) en la Amazonia colombiana. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(1). https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num1_art:1247
- Rosas-Patiño, G., Puentes-Páramo, Y. J., & Menjivar-Flores, J. C. (2021). Efecto del pH sobre la concentración de nutrientes en cacao (*Theobroma cacao L.*) en la Amazonia Colombiana. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 24(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1643>
- Ruales, J., Burbano, H., & Ballesteros, W. (2011). Effect of the Fertilization With Diverse Sources on the Yield of Cacao (*Theobroma cacao L.*). *Revista de Ciencias Agrícolas*, 28(2), 81–95.
- Santamaría, D. (2017). *Efecto de tres tipos de sombra y triacotanol en la producción y calidad del cacao en la Concordia*. Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Sarango, C. (2009). *Efecto de tres niveles de fertilización química en el cultivo de cacao Theobroma cacao L, variedad ramilla CCN 51, parroquia san jacinto del búa – cantón Santo Domingo*. Universidad Nacional de Loja.
- Snoeck, D., Koko, L., Joffre, J., Bastide, P., & Jagoret, P. (2016). *Cacao Nutrition and Fertilization* (pp. 155–202). https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7_4
- Somarriba, E. (2002). Estimación visual de la sombra en cacaotales y cafetales. *Agroforestería En Las Américas*, 9(35–36), 1–5.

- Torres, L. (2012). Manual de producción de cacao fino de aroma a través de manejo ecológico. *Universidad De Cuenca*.
- Uribe, A., Méndez, H., & Mantilla, J. (2011). Efecto de niveles de nitrógeno, fósforo y potasio en la producción de cacao en Colombia. *Suelos Ecuatoriales*, 28.
- van Vliet, J. A., Slingerland, M., & Giller, K. E. (2015). Mineral nutrition of cocoa. In *Advances in Agronomy* (Issue July). <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2016.10.017><http://arohatgi.info/WebPlotDigitizer/app/>
- Wuellins, D. (2019). *Cadena del valor del cacao*. https://www.fontagro.org/new/uploads/adjuntos/Informe_CACAO_linea_base.pdf
- Zambrano, J., & Chávez, E. (2018). Diagnóstico del estado del arte de la cadena de valor del cacao en América Latina y El Caribe. *Fontagro*, 82. <https://www.fontagro.org/wp-content/uploads/2019/03/2018-CacaoDocFinal.pdf>
- Zarrillo, S., Lanaud, C., Loor, R., & Valdez, F. (2012). Origen de la domesticación del cacao y su uso temprano en Ecuador. *Nuestro Patrimonio*, June.

11. Anexos

Anexo 1. Análisis de suelo realizado al inicio del ensayo.

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 Cutuglagua. Tífs. (02) 3007284 / (02)2504240 Mail: laboratorio.dsa@iniap.gob.ec	
---	--	---

INFORME DE ENSAYO No: 21-0234

NOMBRE DEL CLIENTE: Jimenez Jimenez Elias Joel
PETICIONARIO: Jimenez Jimenez Elias Joel
EMPRESA/INSTITUCIÓN: Jimenez Jimenez Elias Joel
DIRECCIÓN: Esteban Godoy Loja

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:
FECHA DE ANÁLISIS:
FECHA DE EMISIÓN:
ANÁLISIS SOLICITADO:

31/03/2021
 12:45
 05/04/2021
 09/04/2021
 S4 + CIC

Análisis	PH	N		P		S		B		K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	I Bases	MO	CO.	Textura (%)			IDENTIFICACIÓN									
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	meq/100g	meq/100g	meq/100g	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	meq/100g	%	%	Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural											
21-0903	5,42	Ac	198	A	13	M	10	B	0,15	B	0,35	M	5,99	A	1,07	A	3,2	M	5,5	A	456	A	58,0	M	5,60	3,03	19,98	7,41	7,7	A	37	34	29	FRANCO ARCILLOSO	Elias Lote 1

Análisis	Al+H*	Al*	Na *	C.E. *	N. Total*	N-NO3 *	K H2O*	P H2O*	Cl*
Unidad	meq/100g			dS/m	%	ppm	ppm	ppm	ppm

OBSERVACIONES:

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

* Ensayos no solicitados por el cliente

INTERPRETACION		
pH	Elemento	
Ac = Acido	N = Neutro	B = Bajo
LAc = Liger. Acido	LAl = Lige. Alcalino	M = Medio
PN = Proc. Neutro	Al = Alcalino	A = Alto
RC = Requieren Cal	T = Tóxico (Boro)	

ABREVIATURAS	
C.E. =	Conductividad Eléctrica
M.O. =	Materia Orgánica

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

INTERPRETACION		
Al+H,Al y Na	C.E.	M.O y Cl
B = Bajo	NS = No Salino	S = Salino
M = Medio	LS = Lg. Salino	MS = Muy Salino
T = Tóxico		A = Alto


 Firmado electrónicamente por:
JOSE ALONSO LUCERO MALATAY

LABORATORISTA


 Firmado electrónicamente por:
IVAN RODRIGO SAMANIEGO MAIGUA

RESPONSABLE DE LABORATORIO

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

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

RESPONSABLES DEL INFORME


 Firmado electrónicamente por:
JOSE ALONSO LUCERO MALATAY

LABORATORISTA


 Firmado electrónicamente por:
IVAN RODRIGO SAMANIEGO MAIGUA

RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 2. Resultados del pH y conductividad eléctrica del suelo enviadas al laboratorio de la Universidad de Loja para su análisis.

LAQ- Instrumental 1

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO MATRIZ PARA ENTREGA DE RESULTADOS					
Código de ingreso	LAQ -USA018	Fecha de ingreso		Tipo de muestra	Suelo tamizado y seco	Número Total de muestras	106
Lugar de procedencia de la muestra	Quinta Experimental "El Padim", Los Encuentros, Yanatzta			Tipo de muestreo	Se desconoce		
Nombre del usuario	Ing. Johnny Fernando Granja Travez			CI.	1713707279		
Programa/proyecto	Efecto de la radiación fotosintéticamente activa sobre cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en la Región Sur del Ecuador y sus implicaciones agronómicas						
Técnico Responsable del Análisis	Ing. Agro. Tania Sarango			Fecha de entrega	20.09.2021		

N°	Nombre	Tratamiento	Peso (g)	Resultados	
				pH	CE (uS/cm)
1	CCN-51 Javier Rivas	T1P4R1	20	4,99	864
2		T1P8R2	20	5,18	445
3		T1P11R3	20	5,42	399
4		T1P13R4	20	5,21	388
5		T2P5R1	20	4,79	1204
6		T2P6R2	20	5,09	310
7		T2P9R3	20	5,16	553
8		T2P12R4	20	4,94	257
9		T3P2R1	20	5,28	384
10		T3P3R2	20	4,94	250
11		T3P10R3	20	5,72	311
12		T3P14R4	20	5,58	356
13		T4P1R1	20	4,89	886
14		T4P7R3	20	4,98	581
15		T4P15R4	20	4,78	529

N°	Nombre	Tratamiento	Peso (g)	Resultados	
				pH	CE (uS/cm)
1	CCN-51 Javier Rivas	T1P4R1	20	5,10	151,4
2		T1P8R2	20	5,47	287
3		T1P11R3	20	5,26	341
4		T1P13R4	20	5,25	308
5		T2P5R1	20	5,14	2,43
6		T2P6R2	20	5,12	309
7		T2P9R3	20	5,18	734
8		T2P12R4	20	5,21	1681
9		T3P2R1	20	5,57	252
10		T3P3R2	20	5,20	209
11		T3P10R3	20	5,26	177,3
12		T3P14R4	20	5,59	226
13		T4P1R1	20	5,27	661
14		T4P7R3	20	5,11	247
15		T4P15R4	20	5,30	255

N°	Nombre	Tratamiento	Peso (g)	Resultados	
				pH	CE (uS/cm)
1	CCN-51 Javier Rivas	T1P4R1	20	5,09	205
2		T1P8R2	20	5,16	254
3		T1P11R3	20	5,13	197
4		T1P13R4	20	5,23	194,6
5		T2P5R1	20	4,94	1180
6		T2P6R2	20	4,89	615
7		T2P9R3	20	4,98	474
8		T2P12R4	20	4,91	1453
9		T3P2R1	20	5,11	309
10		T3P3R2	20	4,99	167,3
11		T3P10R3	20	5,01	164,6
12		T3P14R4	20	5,72	257
13		T4P1R1	20	5,13	387
14		T4P7R3	20	5,18	671
15		T4P15R4	20	5,35	1367

N°	Nombre	Tratamiento	Peso (g)	Resultados	
				pH	CE (uS/cm)
1	CCN-51 Javier Rivas	T1P4R1	20	5,00	204
2		T1P8R2	20	5,29	181,1
3		T1P11R3	20	5,30	289
4		T1P13R4	20	5,25	198,3
5		T2P5R1	20	4,93	1178
6		T2P6R2	20	5,08	247
7		T2P9R3	20	5,03	212
8		T2P12R4	20	5,34	261
9		T3P2R1	20	5,37	201
10		T3P3R2	20	4,89	199
11		T3P10R3	20	5,10	264
12		T3P14R4	20	5,51	322
13		T4P1R1	20	5,04	297
14		T4P7R3	20	4,80	340
15		T4P15R4	20	5,09	837

N°	Nombre	Tratamiento	Peso (g)	Resultados	
				pH	CE (uS/cm)
1	CCN-51 Javier Rivas	T1P4R1	20	5,11	233
2		T1P8R2	20	5,39	168,1
3		T1P11R3	20	5,20	191,3
4		T1P13R4	20	5,42	196,5
5		T2P5R1	20	5,00	294
6		T2P6R2	20	4,97	1238
7		T2P9R3	20	5,07	209
8		T2P12R4	20	5,07	237
9		T3P2R1	20	5,11	258
10		T3P3R2	20	4,77	291
11		T3P10R3	20	5,09	122
12		T3P14R4	20	5,59	198,6
13		T4P1R1	20	4,92	570
14		T4P7R3	20	5,19	285
15		T4P15R4	20	5,80	230

N°	Nombre	Tratamiento	Peso (g)	Resultados	
				pH	CE (uS/cm)
1	CCN-51 Javier Rivas 30- 04-2021	T1P4R1	20	5,68	780
2		T1P8R2	20	6,42	1501
3		T1P11R3	20	5,44	377
4		T1P13R4	20	5,55	1275
5		T2P5R1	20	5,26	659
6		T2P6R2	20	5,11	1067
7		T2P9R3	20	5,37	1167
8		T2P12R4	20	5,13	682
9		T3P2R1	20	5,27	650
10		T3P3R2	20	4,92	773
11		T3P10R3	20	5,72	1600
12		T3P14R4	20	5,19	717
13		T4P1R1	20	5,37	1776
14		T4P7R3	20	5,13	866
15		T4P15R4	20	5,63	660

N°	Nombre	Tratamiento	Peso (g)	Resultados	
				pH	CE (uS/cm)
1	CCN-51 Javier Rivas	P1	20	4,91	362
2		P2	20	5,30	279
3		P3	20	5,08	198,3
4		P4	20	5,17	151,8
5		P5	20	5,10	874
6		P6	20	5,23	1505
7		P7	20	5,24	339
8		P8	20	5,54	169,8
9		P9	20	4,78	275
10		P10	20	5,13	175,3
11		P11	20	5,24	207
12		P12	20	4,89	323
13		P13	20	5,26	148,1
14		P14	20	5,81	243
15		P15	20	4,64	1514

N°	Nombre	Tratamiento	Peso (g)	Resultados	
				pH	CE (uS/cm)
1	CCN-51 Javier Rivas	T1P4R1	20	5,11	221
2		T1P8R2	20	5,29	201
3		T1P11R3	20	5,34	180,5
4		T1P13R4	20	5,32	201
5		T2P5R1	20	5,14	431
6		T2P6R2	20	5,27	1611
7		T2P9R3	20	5,11	170,6
8		T2P12R4	20	5,04	249
9		T3P2R1	20	5,19	204
10		T3P3R2	20	5,01	141,4
11		T3P10R3	20	5,19	149,3
12		T3P14R4	20	5,6	276
13		T4P1R1	20	4,75	276
14		T4P7R3	20	5,11	368
15		T4P15R4	20	4,92	219

*Los datos de pH y CE fueron medidos con los equipos pH Jenway 3510 y el Conductímetro OAKLON 11 series, en muestra de suelo con relación 1:2



Teléfono: +591985110000
**TANIA YASMIN
 SARANGO ACARO**

Ing. Agro. Tania Sarango Acaro
Técnico Responsable

Correo electrónico: laboratorio.quimico@unl.edu.ec
 Telf.: 2547878

Anexo 3. Resultados del análisis de concentración de clorofila realizado por el laboratorio de la Universidad de Loja.

LAQ- Unidad Bromatología

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO MATRIZ PARA ENTREGA DE RESULTADOS					
Código de ingreso	LAQ-UB004	Fecha de ingreso	27.09.2021	Tipo de muestra	Hojas frescas de cacao	Número Total de muestras	81
Lugar de procedencia de la muestra		Quinta Experimental "El Padmi", Los Encuentros, Yanzatza			Tipo de muestreo	Se desconoce	
Nombre del usuario	Ing. Jahny Fernando Granja Travez			CL	1713707279		
Programa/proyecto	Efecto de la radiación fotosintéticamente activa sobre cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en la Región Sur del Ecuador y sus implicaciones agronómicas						
Técnico Responsable del Análisis	Ing. Agro. Tania Sarango			Fecha de entrega	06.10.2021		
<p>*Los datos de clorofila fueron medidos espectrofotómetro UV Hach DR 2800 Fórmulas utilizadas: Volumen de extracto 10 ml, peso de hoja 1 g.</p> $Ca \left(\frac{\mu g}{g} \right) = [(12.7 \times A_{663}) - (2.69 \times A_{645})] \times \frac{\text{volumen del extracto ml}}{\text{peso de la hoja gr}}$ $Cb \left(\frac{\mu g}{g} \right) = [(22.9 \times A_{645}) - (4.68 \times A_{663})] \times \frac{\text{volumen del extracto ml}}{\text{peso de la hoja gr}}$ $C \text{ total} \left(\frac{\mu g}{g} \right) = [(20.2 \times A_{645}) + (8.02 \times A_{663})] \times \frac{\text{volumen del extracto ml}}{\text{peso de la hoja gr}}$							

Tesista	Tratamiento	Absorbancia		Ca	Cb	C Total
		Long 663	Long 645			
Javier Rivas	T1R1	0,503	0,221	57,94	27,07	84,98
	T1R2	0,432	0,187	49,83	22,61	72,42
	T1R3	0,361	0,159	41,57	19,52	61,07
	T2R1	0,371	0,168	42,60	21,11	63,69
	T2R3	0,396	0,171	45,69	20,63	66,30
	T2R4	0,319	0,153	36,40	20,11	56,49
	T3R1	0,405	0,175	46,73	21,12	67,83
	T3R3	0,408	0,177	47,05	21,44	68,48
	T3R4	0,359	0,167	41,10	21,44	62,53
	T4R1	0,414	0,192	47,41	24,59	71,99
	T4R3	0,566	0,249	65,18	30,53	95,69
	T4R4	0,527	0,236	60,58	29,38	89,94

Ing. Agro. Tania Sarango Acaro
Técnico Responsable



Identificado y autorizado por:
TANIA YASMIN
SARANGO ACARO

Correo electrónico: laboratorio.quimico@unl.edu.ec
Telf.: 2547878

Anexo 4. Dosificaciones y fertilizantes utilizados en el ensayo.

NOMBRE	Aportación de nutrientes (%)	Elemento	Fertilización total	Fertilización para 6 aplicaciones por planta (gr)	Fertilización por aplicación para 15 plantas. (Kg)
Nitrato de calcio	15 26	N Ca	753.8	126	1.9
DAP	18 46	N P	70	12	0.2
KCL	60	K	749	125	1.9
Nitrato de amonio	33	N	518.6	86	1.3
Sulfato de Mg	16	Mg	621.3	104	1.6
Ácido bórico	17.5	B	84	14	0.2 Dos aplicaciones en un intervalo de 40 días

Anexo 5. Evidencias fotográficas



Figura 20. Recolección de muestras de suelo.



Figura 21. Aplicación de fertilizantes alrededor de la corona.



Figura 22. Planta de cacao clon CCN51 con malla de sarán al 80%.



Figura 23. Toma de datos de altura



Figura 24. Toma de datos de diámetro de copa.



Figura 25. Toma de datos de largo de la hoja.



Figura 26. Recolección de muestras de hojas



Figura 27. Tinción de los cortes transversales realizados a las hojas.



Figura 28. Retiro de la impronta de la hoja de cacao.



Figura 29. Observación de estomas en el microscopio.

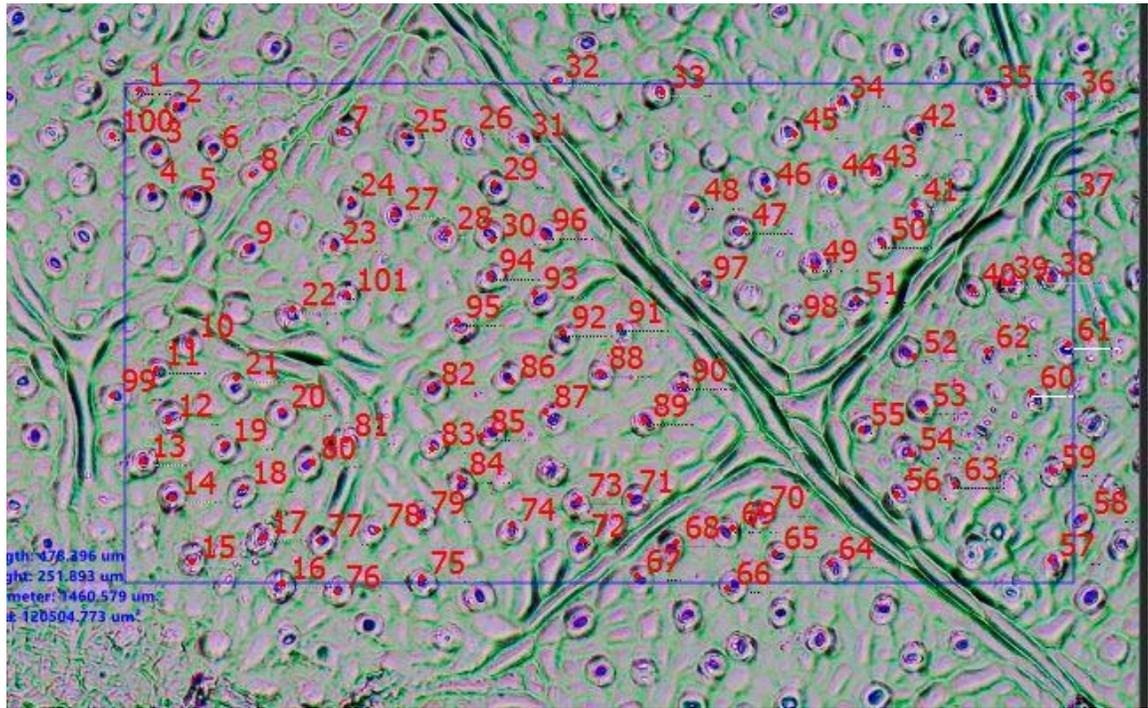


Figura 30. Contabilización de estomas mediante el programa Micro Cam 5.7.

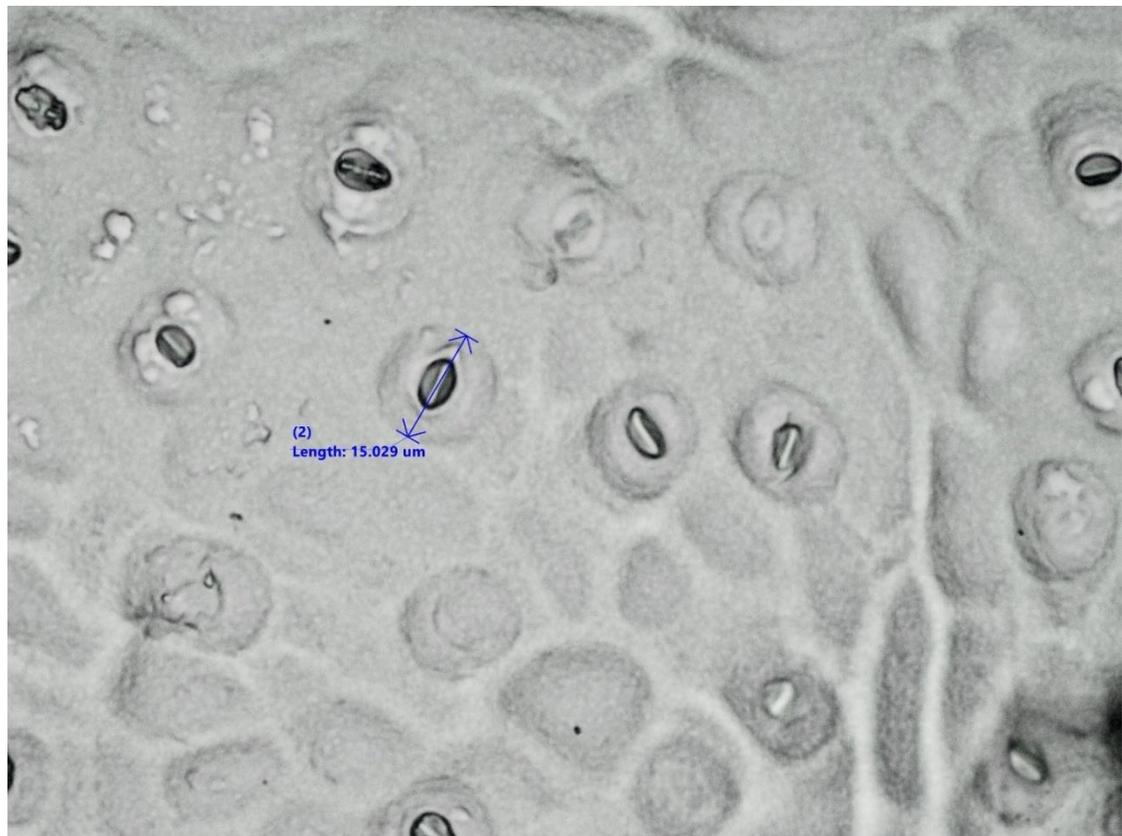


Figura 31. Largo del estoma, visto mediante el microscopio a 40x

Anexo 6. Certificación de traducción del abstract

ABSTRACT

Cocoa (*Theobroma cacao L.*) is a traditional and economically important crop for Ecuador, it is the third non-oil exportable product. Zamora Chinchipe is located in the possible sub-center of origin of cocoa, likewise, this crop has great agronomic and economic importance for this area. However, the lack of knowledge of the colonists and the low-tech management generate low yields. In cocoa there are factors that limit its growth such as fertilization and, on the other hand, the real effect of shade on the growth and yield of this crop is unknown. For this reason, the objective of this research work is to evaluate the morphological and physiological behavior of the cocoa clone CCN51 (*Theobroma cacao L.*) under the effect of two levels of shade and two levels of fertilization in the province of Zamora Chinchipe. The study was carried out at the "El Padmi" Experimental Station of the National University of Loja, using an already established plantation of one year and eight months of growth with a completely randomized design (DCA) of four treatments and four repetitions. Morphological variables were measured: height, shoot length, trunk cross-sectional area, leaf area and index, and crown diameter. Physiological variables such as pH and electrical conductivity, chlorophyll concentration, density, and stomatal index were also measured. The effect of the treatments was evaluated using ANOVA and means test (Tukey) ($p=0.05$). In the results obtained, it is observed that the fertilization factor caused a significant effect on the pH, electrical conductivity, length and TCA of the shoots, while the shade factor caused an effect on the density and stomatal index, on the other hand, the shadow interaction -fertilization had an effect on chlorophyll concentration.

Keywords: *Theobroma cacao L.*, fertilization, shade, solar radiation, growth, productivity.

Yo, Lic. Freddy P. Castillo H., profesor de WEI ENGLISH INSTITUTE;

Certifico:

Que tengo el conocimiento y dominio de los idiomas español e inglés y que las traducciones de los siguientes:
RESUMEN DE TESIS: "EFECTO DE LOS NIVELES DE SOMBRA Y FERTILIZACIÓN SOBRE VARIABLES MORFOLÓGICAS Y FISIOLÓGICAS EN CACAO (*Theobroma cacao L.*) CLON CCN51 EN LA ZONA DE EL PADMI, ZAMORA CHINCHIPE"

para: **RIVAS CAÑAR JAVIER ENRIQUE**

es verdadero y correcto a mi mejor saber y entender, sin haber cambiado, aumentado o disminuido su sentido en ninguna línea o párrafo del mismo.

FREDDY PAUL
CASTILLO HOYOS

Firmado digitalmente por FREDDY
PAUL CASTILLO HOYOS
Fecha: 2022.11.28 18:28:57 -0500

Firmado en Loja a los veintiocho días del mes de noviembre de 2022