



**UNIVERSIDAD
NACIONAL DE LOJA**

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS
NATURALES RENOVABLES**

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**EFFECTO 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**

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

Autor: Jorge Geovanny Espinosa Masa

Director: Santiago Cristóbal Vásquez Matute Ph D.

Loja – Ecuador

2021

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD.
DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Que luego de haber dirigido y revisado el trabajo de tesis titulado: **“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”**, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, del egresado: Jorge Geovanny Espinosa Masa, ha sido desarrollado de acuerdo a la planificación y cronograma establecido; por tanto se autoriza su presentación debido a que el mismo se sujeta a las normas y reglamentos generales de graduación exigido por la carrera de Ingeniería Agronómica.

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

Loja, 03 de Febrero del 2021



Firmado electrónicamente por:
SANTIAGO
CRISTOBAL VASQUEZ
MATUTE

.....
Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Una vez cumplida la reunión del tribunal de calificación del trabajo final de tesis titulado: **“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”** de autoría del Sr. Jorge Geovanny Espinosa Masa, egresado de la carrera de Ingeniería Agronómica.

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

Loja, 31 de marzo de 2021



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

Mg. Sc. Paulina Vanesa Fernández Guarnizo
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

MARIA
NATALIA
MORALES
PALACIO

Firmado digitalmente
por MARIA NATALIA
MORALES PALACIO
Fecha: 2021.04.05
09:06:02 -05'00'

Mg. Sc. Natalia Morales Palacio

VOCAL



Firmado electrónicamente por:
**ALEX EDUARDO
SALAZAR
GONZALEZ**

Mg. Sc. Alex Salazar González

VOCAL

AUTORÍA

Yo, Jorge Geovanny Espinosa Masa, declaro ser el autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

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

Firma:  Firmado electrónicamente por:
**JORGE GEOVANNY
ESPINOSA MASA**

Autor: Jorge Geovanny Espinosa Masa

Cedula: 110514747-2

Fecha: 06/04/2021

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS

Yo, Jorge Geovanny Espinosa Masa, declaro ser el autor de la tesis titulada “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” como requisito para optar al grado de Ingeniero Agrónomo, autorizo al sistema bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la publicación intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente en el Repositorio Digital Institucional.

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

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

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

Firma:  Firmado electrónicamente por:
**JORGE GEOVANNY
ESPINOSA MASA**

Autor: Jorge Geovanny Espinosa Masa

Número de cédula: 110514747-2

Dirección: Eugenio Espejo y 10 de Agosto, Barrio María Auxiliadora, Cantón Catamayo – Loja.

Correo electrónico: jorge.espinosa@unl.edu.ec

Celular: 0986880320

DATOS COMPLEMENTARIOS

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

Tribunal de grado:

Paulina Vanesa Fernández Guarnizo. Mg, Sc.

Presidente

María Natalia Morales Palacio. Mg, Sc.

Vocal

Alex Eduardo Salazar González. Mg, Sc.

Vocal

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios y la Virgen por la sabiduría que me regalan todos los días; y en segundo lugar a la Universidad Nacional de Loja, a la planta docente de la Carrera de Ingeniería Agronómica por permitir formarme académicamente y poder lograr mi carrera profesional. A los docentes: MSc. Pablo Álvarez, MSc. Javier Guayas, PhD. Tulio Solano, MSc. Johnny Granja, por su gran amistad y por los aprendizajes brindados durante mi formación académica.

Agradezco a todo el equipo de investigación del proyecto del cacao, por abrirme las puertas a formar parte del equipo de trabajo e investigación; especialmente a mi director de tesis el PhD. Santiago Vásquez, agradecerle por su dirección, apoyo y guía de mi trabajo de investigación; de igual forma a mis compañeros tesisistas por su confianza y apoyo incondicional. Este estudio se realizó dentro del Proyecto 11-DI-FARNR-2019 de la Dirección de Investigación, Universidad Nacional de Loja.

A mi profesora de Titulación, PhD. Marina Mazón por las asesorías brindadas durante toda la fase de redacción de mi tesis; a mis compañeros de curso quienes fueron partícipes de alegrías, triunfos, tristezas y sobre todo amistad incondicional durante los cinco años de mi formación profesional.

A mis padres Rolando Espinosa y Flor María Masa, por el apoyo incondicional que día a día durante estos cinco años de mi formación universitaria me supieron dar; a mis bellos hermanos por ser la esencia especial en mi vida para yo poder superarme.

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de investigación a mis padres Rolando Espinosa y María Masa, quienes con su ejemplo de perseverancia, esfuerzo y valentía; permitieron que yo pueda lograr este triunfo; asimismo a mis hermanos quienes día a día fueron partícipes de mis alegrías, triunfos y tristezas.

De manera muy especial, a mi hijo Jorge Daniel y a mi mujer Rosita; por ser mi mayor inspiración y motivo de salir adelante cada día.

Con mucho cariño.

Jorge

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	I
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS.....	II
CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	III
AUTORÍA	IV
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
DEDICATORIA	VII
TITULO.....	XII
RESUMEN	XIII
ABSTRACT.....	XIV
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1.1. Objetivo General.....	3
1.1.2. Objetivos específicos	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Generalidades.....	4
2.2. Clon CCN 51.....	4
2.3. Factores que influyen en el crecimiento del cultivo de cacao.....	4
2.3.1. Sombra.....	5
2.3.2. Nutrición del cacao.....	5
2.3.3. Sombra – fertilización y sus efectos.....	7
2.4. Estudios de nutrición y sombra en cacao.....	9
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
3.1. Área de estudio.....	10
3.2. Establecimiento del cultivo y manejo del ensayo.....	10
3.3. Tratamientos y diseño experimental.....	11

3.4.	Metodología para el primer objetivo	13
3.5.	Metodología para el segundo objetivo.....	15
3.6.	Análisis estadístico	17
4.	RESULTADOS	18
4.1.	Variables morfológicas	18
	<i>Altura de planta</i>	18
	<i>Diámetro del tallo</i>	18
	<i>Área de la sección transversal del tronco</i>	19
	<i>Longitud del brote</i>	20
	<i>Tasa de crecimiento absoluta (TCA)</i>	20
	<i>Tasa de crecimiento relativa (TCR)</i>	21
	<i>Longitud y número de metámeros</i>	21
	<i>Área foliar</i>	22
4.2.	Variables fisiológicas.....	24
	<i>Concentración de clorofila</i>	24
	<i>Densidad estomática</i>	24
	<i>Índice de área foliar</i>	25
	<i>pH del suelo y conductividad eléctrica</i>	26
4.3.	Correlaciones entre variables	27
5.	DISCUSIÓN.....	29
6.	CONCLUSIONES	36
7.	RECOMENDACIONES	37
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
9.	ANEXOS.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de los factores sombra y fertilización llevados a cabo en la investigación.	11
Tabla 2. Área de la sección transversal del tronco (ASTT) al inicio y al final de la evaluación del ensayo.	19
Tabla 3. Tasa de crecimiento absoluta de los brotes después de cada aplicación de los tratamientos (DDT), las TCA se expresan en cm/día.	21
Tabla 4. Tasa de crecimiento relativa del brote después de cada aplicación de tratamientos (DDT), las TCR se expresan en mm.cm/día.	21
Tabla 5. Longitud y número de metámeros al finalizar la evaluación del ensayo..	22
Tabla 6. Densidad estomática en hojas de cacao clon CCN51 al finalizar la evaluación del ensayo..	25
Tabla 7. Correlaciones entre variables morfológicas y fisiológicas medidas en cacao	28
Tabla 8. Requerimientos nutricionales para el cultivo de cacao.	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del lugar de la investigación.	10
Figura 2. Distribución de las plantas de cacao CCN51 en el campo.	12
Figura 3. Crecimiento de plantas de cacao clon CCN51 desde los 20 a 100 días después de la aplicación de tratamientos.....	18
Figura 4. Expresión del crecimiento del diámetro del tallo en plantas de cacao clon CCN51, tomadas al inicio y final del ensayo	19
Figura 5. Crecimiento de brotes desde los 20 a 100 días de aplicación de tratamientos y evaluación del ensayo.....	20
Figura 6. Curva de regresión obtenida entre el ancho de hoja y área foliar.	22
Figura 7. A. Área foliar de plantas de cacao clon CC51 y B. Área foliar del brote por cada tratamiento, a los 100 días después de la aplicación de los tratamientos.	23
Figura 8. Concentración de clorofila total, contenida en hojas de cacao clon CCN51, a los 100 días después de la aplicación de los tratamientos	24
Figura 9. Índice de área foliar, a los 100 días después de la aplicación de los tratamientos	25
Figura 10. Expresión de la variación del pH del suelo en el cultivo de cacao clon CCN51, durante la fase de aplicación de tratamientos	26
Figura 11. Expresión de la conductividad eléctrica del suelo en el cultivo de cacao clon CCN51, durante la fase de aplicación de tratamientos	27

**“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”**

RESUMEN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es uno de los principales productos agrícolas de exportación de Ecuador, sin embargo, el rendimiento a nivel nacional apenas llega a 0,5 t/ha, un promedio bajo considerando que el rendimiento potencial de este cultivo puede llegar a 5 t/ha. Las investigaciones primarias en cacao surgieron hace algunos años, pese a ello en Ecuador, la producción en cacao se realiza bajo un manejo poco tecnificado, probablemente debido al poco conocimiento de los productores. Así mismo, existe escasa información sobre el efecto de fertilización y uso de la sombra para la producción de cacao en condiciones de la Amazonía ecuatoriana, por lo tanto, este trabajo tiene como objetivo evaluar diferentes niveles de fertilización y el uso de sombra durante el crecimiento y desarrollo vegetativo en un huerto de cacao recientemente establecido. En el presente estudio se utilizó como material vegetal el clon CCN51 en estado inicial de crecimiento, el ensayo fue establecido en la Estación Experimental “El Padmi”, en la provincia de Zamora Chinchipe. Se evaluaron 4 tratamientos: T1= Control (sin sombra y sin fertilización), T2= Fertilización (en base a la demanda y suministro de nutrientes), T3= Sombra (usando una malla que impide el paso de la radiación solar de 80 %) y T4= Interacción sombra – fertilización. Para ello se evaluaron variables morfológicas incluyendo la altura de planta, diámetro del tallo, área de la sección transversal del tallo (ASTT), longitud de brote, tasa de crecimiento absoluta y relativa (TCA y TCR), número de metámeros. También se midió variables fisiológicas: índice de área foliar (IAF), concentración de clorofila en las hojas y densidad estomática de hoja. En el suelo se midió periódicamente el pH y la conductividad eléctrica. El efecto de los tratamientos sobre las variables dependientes se evaluó mediante ANOVA y test de medias (Tukey) ($p=0,05$). Si bien, en la mayoría de variables no se encontraron efectos significativos de los tratamientos, la fertilización incrementó la altura de planta y longitud de metámeros como consecuencia del incremento en de la tasa de crecimiento. La sombra favoreció la expansión foliar observándose un incremento en el área foliar de la planta, así como, en el IAF. Los resultados de este trabajo sugieren que la nutrición y la disminución de la radiación solar del cacao pueden favorecer el crecimiento de este cultivo desde etapas tempranas, sin embargo, es necesario continuar este estudio en las siguientes etapas del cultivo para ver su impacto sobre variables productivas.

Palabras clave: *Theobroma cacao*, fertilización, sombreo, radiación solar incidente, crecimiento vegetativo.

ABSTRACT

Cocoa (*Theobroma cacao* L.) is one of the major export products in Ecuador and the average of national yield production is low (0,5 t/ha), compared to other countries which reaching 5 t/ha. Primary research on cocoa emerged a few years ago, however, in Ecuador, cocoa production is carried out under low-tech management, probably due to the lack of knowledge of the producers. Likewise, there is scarce information on the effect of fertilization and the use of shade for cocoa production in conditions of the Ecuadorian Amazon, therefore, this work aims to evaluate different levels of fertilization and the use of shade during growth and vegetative development in a recently established cocoa orchard. In the present study, clone CCN51 in the growth stage was used as plant material, the trial was established at the Experimental Station "El Padmi", in the province of Zamora Chinchipe. Four treatments were evaluated: T1= Control (no shade and no fertilization), T2= Fertilization (based on nutrient demand and supply), T3= Shade (using a mesh that prevents the passage of 80 % solar radiation) and T4= Shade - fertilization interaction. For this, morphological variables were evaluated including plant height, stem diameter, stem cross-sectional area (ASTT), shoot length, absolute and relative growth rate (TCA and TCR), number of metameres. Physiological variables were also measured: leaf area index (LAI), leaf chlorophyll concentration and leaf stomatal density. Soil pH and electrical conductivity were measured periodically. The effect of the treatments on the dependent variables was evaluated by ANOVA and a Tukey test of means ($p=0.05$). Although no significant effects of the treatments were found for most of the variables, fertilization increased plant height and metamer length as a consequence of the increase in growth rate. Shade favored leaf expansion and increased plant leaf area, as well as IAF. The results of this work suggest that nutrition and the reduction of solar radiation of cocoa can favor the growth of this crop from early stages, however, it is necessary to continue this study in the following stages of the crop to see its impact on productive variables.

Key words: *Theobroma cacao*, fertilization, shading, incident solar radiation, vegetative growth.

1. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, el cacao es uno de los principales productos tradicionales de exportación. Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), el sector cacaotero aporta con el 5 % de la población económicamente activa nacional (PEA) y el 15 % de la PEA rural, formando así una base fundamental de la economía familiar costera del país, las estribaciones de las montañas de los Andes y la Amazonía ecuatoriana (ANECACAO, 2019).

La producción mundial se concentra en el continente africano que aporta el 73,3 % de la producción mundial, seguido por el continente americano con una participación del 16,7 % y Asia y Oceanía con el 10 %. Según la Organización Internacional de Cacao (ICCO), Ecuador se encuentra entre los principales productores de cacao, ocupa el tercer lugar a nivel mundial, representando el 7 % de la producción mundial total. En nuestro país, la producción está representada principalmente por pequeños productores con un 70 %, seguido por productores medianos con un 20 % y grandes productores que representan aproximadamente un 10 % (ANECACAO, 2019).

La mayor producción cacaotera se concentra en las provincias de Guayas, Los Ríos, Manabí y Esmeraldas. En esas provincias, en sus inicios se plantó cacao “nacional” o “fino de aroma”, sin embargo, en la última década, el clon CCN51 ha tomado fuerza por presentar cierta resistencia al ataque de plagas y enfermedades (INIAP, 2019).

El 22 de junio de 2005 mediante acuerdo ministerial, el clon CCN51 fue declarado como “un bien de alta productividad”; actualmente la tonelada se cotiza en 2 900 dólares americanos, y su productividad es mucho más alta que la del cacao tradicional. El CCN51 permite una producción de 2 000 a 3 000 kg por hectárea al año, lo que contrasta con la del nacional que fluctúa de 300 a 500 kg, y además ofrece mayores posibilidades de trabajo a los cultivadores (ANECACAO, 2019).

Este clon se caracteriza por su capacidad productiva, así como también es reconocido por sus características de alto rendimiento para la extracción de semielaborados, ingredientes esenciales

para la producción de chocolates y otros derivados; contiene grandes cantidades de grasa, por lo que define sus propios nichos de mercados (ANECACAO, 2019).

En la provincia de Zamora Chinchipe, la superficie cultivada de cacao es 848,8 ha, distribuidas en tres sistemas de siembra: el 62,42 % está bajo un sistema de siembra asociado principalmente con plátano, el 21,42 % en forma de monocultivos y el 16,32 % se establece bajo sistemas agroforestales (principalmente guabos, porotillos y laurel) (PDOT Provincia de Zamora Chinchipe, 2014). Cabe recalcar que la productividad del clon CCN 51 en la Provincia de Zamora Chinchipe en el 2019 fue de 0,66 t de almendra seca/ha, muy por debajo de su potencial y de la producción de cacao a nivel nacional, cuyo valor fue de 1,55 t (INIAP, 2019). Esta producción limitada no alcanza a satisfacer la actual demanda local, por lo que se requiere potenciar aquellas actividades agronómicas que mejoren el rendimiento.

Diversas líneas de investigación relacionadas con la nutrición del cacao han contribuido a los conocimientos actuales, incluido el establecimiento de balances de nutrientes en diferentes sistemas de producción de cacao; pese a la importancia del cultivo, gran parte de la investigación mundial se realizó hace más de 40 años (van Vliet *et al.*, 2017); y por ejemplo, no existe información científica sobre la cantidad exacta de sombra en el cultivo de cacao que esté enfocada a incrementar niveles de producción.

La fertilización a base de nitrógeno contribuye a mejorar los porcentajes de grasa en el fruto, provoca disminución en el área foliar y afecta los contenidos de potasio. Por otra parte, la fertilización con fósforo incrementa la longitud, el peso del fruto y el contenido de grasa del mismo, mientras que el potasio aumenta la longitud y peso del fruto, así como la disposición de calcio y magnesio en el suelo. En cambio, la acción conjunta de los tres elementos puede generar una sinergia que favorece los contenidos de fósforo en el suelo y los contenidos bromatológicos del brote (Herrera, 2019).

En la Amazonía ecuatoriana los suelos son ácidos, poseen baja fertilidad, gran contenido de metales pesados y un alto porcentaje de materia orgánica de baja calidad (Pérez y Martín, 2009).

En la Provincia de Zamora Chinchipe el manejo del cultivo, por lo general se lleva a cabo bajo prácticas empíricas, por tal razón, es necesario partir de estudios técnicos con el propósito de adquirir nuevos conocimientos en cuanto a este tipo de prácticas y determinar si el efecto de cantidades variables de radiación fotosintéticamente activa, afectan el crecimiento vegetativo de cacao (clon CCN51) y a su vez, determinar una fertilización adecuada con la finalidad de evitar la acidificación del suelo.

Por lo expuesto anteriormente, la presente investigación plantea analizar si dos niveles de sombra y nutrición influyen tanto en el crecimiento y desarrollo temprano de cacao clon CCN51, así como en sus variables morfo-fisiológicas. Con la finalidad de cumplir el propósito de la presente investigación se plantearon los siguientes objetivos:

1.1.Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de la sombra y nutrición sobre variables morfológicas y fisiológicas de crecimiento vegetativo en el cultivo de cacao clon CCN51 en la provincia de Zamora Chinchipe.

1.1.2. Objetivos específicos

Analizar los efectos de distintos niveles de sombra y nutrición sobre variables morfológicas de crecimiento en cacao.

Determinar la influencia de dos niveles de sombra y nutrición sobre parámetros fisiológicos y nutricionales durante el crecimiento temprano de cacao.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un árbol nativo de las regiones tropicales húmedas de la parte norte de América del Sur y, según algunos informes, de América Central (Mejía *et al.*, 2012). El origen más probable de cacao es la región de las cuencas del Orinoco y el Amazonas, cerca de la frontera colombo-ecuatoriana (Motamayor *et al.*, 2002).

Pertenece a la familia *Malvaceae*, y se divide genéticamente en tres grupos: Criollos, Forasteros y Trinitarios (Loor *et al.*, 2012). En Ecuador se cultivan variedades que se derivan de los grupos antes mencionados, como los clones “CCN51” y varios clones de “EET” conocidos como nacionales (Arvelo *et al.*, 2017). El clon CCN51 de cacao representa 80 000 hectáreas del área total sembrada en Ecuador y presenta un rendimiento promedio aproximado de 1 t/ha, el cual podría incluso alcanzar las 3 t/ha (Amores *et al.*, 2011).

2.2. Clon CCN 51

El clon CCN 51 fue obtenido del híbrido entre los clones ICS - 95 x IMC - 67 y un segundo cruce con un cacao del Oriente ecuatoriano denominado “Canelos” (ANECACAO, 2019). Se destaca por su alta productividad, calidad y resistencia a plagas y enfermedades como la escoba de bruja (*Monillioptera pernicioso*), mal del machete (*Ceratocystis cacaofunesta*) y monilla (*Monillioptera roreri*) (Boza *et al.*, 2014; Gómez, 2017).

2.3. Factores que influyen en el crecimiento del cultivo de cacao

Existen distintos factores que pueden afectar de manera positiva y negativa en el crecimiento y producción en el cultivo de cacao, entre ellos los principales son sombra y nutrición.

2.3.1. Sombra

El cacao tradicionalmente se ha venido cultivando de distintas formas, de entre ellas la más tradicional es con el uso de sombra, misma que puede ser permanente o temporal. La eliminación de la sombra ha demostrado tener un impacto negativo en el almacenamiento de nutrientes con el paso del tiempo, por lo que afecta al rendimiento del cacao (Nelson *et al.*, 2011).

Santana y Cabala-Rosand, (1982) señalan que los árboles de sombra pueden tener una relación positiva con el rendimiento de cacao a través de los aportes de nutrientes de la hojarasca al suelo, aunque también se ha demostrado que los árboles de sombra tienen una relación negativa, ya que el follaje de los árboles impide el ingreso de la radiación fotosintéticamente activa de manera directa hacia las hojas de la planta, por lo tanto existiría menos fotosíntesis y por ende disminuye la producción (Abdulai *et al.*, 2018; Wartenber *et al.*, 2018).

Distintos niveles de sombra provocan una buena calidad del suelo: menor acidez y buenos contenidos de potasio, así mismo la sombra favorece el reciclaje de nutrientes, especialmente los procesos de mineralización y nitrificación del nitrógeno (Baraër, 2013). La sombra reduce la evaporación del agua del suelo (Lin, 2010) debido a la intercepción de la luz solar y a la presencia del mantillo generado por los árboles el cual protege el suelo, que a su vez es beneficioso para la microflora y microfauna del suelo, encargados de la descomposición de la materia orgánica (Rapidel *et al.*, 2015).

2.3.2. Nutrición del cacao

Los cacaotales necesitan minerales como nitrógeno, fósforo y potasio: el nitrógeno (N) participa en la división celular, incrementa el número de flores, mejora el peso y el tamaño de los frutos; el fósforo (P) es importante en la formación de flores, frutos y semillas y acelera la maduración de los frutos; y el potasio (K) es encargado del engrosamiento de frutos y aumento de sólidos solubles (IICA, 2012; van Vliet *et al.*, 2017).

Para producir una tonelada de cacao seco, se extrae del suelo 31 a 40 kg de N, de 11,5 a 13,75 kg de P₂O₅ y de 64,8 a 103 kg de K₂O (Sánchez *et al.*, 2005). El árbol de cacao incrementa la absorción de nutrientes durante los primeros cinco años después de la siembra, una vez alcanzada esta edad, la tasa de absorción se mantiene durante su ciclo de producción que es aproximadamente 40 años. La cantidad de nutrientes que extraiga está relacionada con el estado nutricional del árbol y la disponibilidad que haya en el suelo; normalmente absorbe más potasio, seguido de nitrógeno, calcio y magnesio (López *et al.*, 2015).

En la Amazonía predominan suelos ácidos que limitan la disponibilidad y absorción de N, P, K, Ca y Mg; para elevar el pH mediante encalado, con 7 000 kg/ha de Ca (CO₃) en dos meses cambia el pH de 4,0 a 6,0 incrementando la disponibilidad de Ca, Mg, P y Zn, y disminuyendo la disponibilidad de Al, Fe y Mn (Quintero *et al.*, 2011; Rosas *et al.*, 2017).

Nitrógeno

El nitrógeno estimula el aumento en el área de las hojas, el crecimiento de plántulas jóvenes, la formación de horquetas (junto con K y Mg), la formación del dosel y el cierre temprano del mismo. Los árboles maduros solo pueden responder a N cuando son podados y raleados (Wessel, 1985).

Según Puentes *et al.* (2014) el clon CCN51 presenta una mayor eficiencia agronómica de nitrógeno (EAN), lo que significa un incremento en el rendimiento de 16,28 kg de almendra por cada kilogramo de N aplicado.

Fósforo

El fósforo es importante en el desarrollo de las raíces: equilibra la absorción del nitrógeno por la planta, estimula la actividad de las bacterias nitrificantes y ayuda a la floración y fructificación; constituye de 0,1 a 0,4 % del extracto seco de la planta y juega un papel importante en la transferencia de energía (Beer *et al.*, 2009; FAO, 2018).

El fósforo a menudo interacciona positivamente con el N (van Vliet *et al.*, 2017) y a su vez aumenta el crecimiento y el rendimiento del cacao en casi todos los suelos de las regiones productoras (Snoeck *et al.*, 2016).

Potasio

El potasio es conocido como el elemento de calidad para la producción agrícola, genera mayor porcentaje comercializable del rendimiento total, aumenta el porcentaje de proteína en los granos, provoca un mayor contenido de aceite y vitamina C, mejora el color y sabor de las frutas y acrecienta el tamaño de frutos (Imas, 2018).

Los síntomas de deficiencia de K aparecen inicialmente en las hojas más viejas y se acentúan con el desarrollo de brotes como consecuencia de la translocación del nutriente viejo a tejido joven. La translocación es de tal naturaleza que para el momento en que el brote joven se expande totalmente, las hojas viejas se caen; a medida que la deficiencia se acentúa, las hojas de los brotes y chupones son cada vez más pequeños (FAO, 2018).

Una buena parte de estos nutrientes podría recuperarse si se utilizaran los mismos desechos del cultivo de cacao: se ha observado que con las cáscaras de cacao y cáscaras de las vainas se puede aportar 31-40 kg de nitrógeno (N), 5-6 kg de fósforo (P), 54-86 kg de potasio (K), 5-8 kg de calcio (Ca) y 5-7 kg de magnesio (Mg) (Wessel, 1985).

2.3.3. Sombra – fertilización y sus efectos

Müller (2008) señala que para mejorar la producción de cacao se debe considerar los factores ambientales y sus interacciones, pero el impacto sobre crecimiento y productividad depende de la genética, que determina las características fisiológicas y morfológicas. Entre los factores climáticos, la temperatura es crítica para el crecimiento; el régimen pluviométrico, a pesar de su importancia, puede ser suplementado con riego, mientras que la radiación solar y la humedad relativa interfieren en los mecanismos fisiológicos de la planta, pero aun así la radiación solar y la

humedad no son limitaciones ecológicas debido a la posibilidad de controlar estos factores a través del manejo con sombra.

Van Vliet *et al.* (2017) afirman que el grado de sombra influye en la respuesta del cacao al fertilizante, pero de manera general menciona que los fertilizantes tienen un mayor impacto en el crecimiento del cacao y en el rendimiento sin sombra; sin embargo, este efecto depende del grado de sombra, el cual no siempre es cuantificado.

El cacao expuesto directamente al sol, con cantidades adecuadas de agua y nutrientes, protegido del viento, produce más que cultivado bajo sombra. Debido al aumento de la tasa fotosintética, las plantas requieren mayores cantidades de nutrientes; por tanto, se debe lograr un aporte acorde a sus necesidades, porque la fotosíntesis se relaciona con la concentración de nitrógeno en las hojas y, en plantas muy sombreadas, dosis altas de nitrógeno disminuyen la tasa fotosintética (De Almeida y Valle, 2010).

A medida que la cantidad de radiación fotosintéticamente activa (PAR) es mayor con menos sombra, también es la tasa de fotosíntesis. Si los nutrientes son limitados, la fertilización aumentará los rendimientos cuando se elimine la sombra; pero si el rendimiento es mayor en ausencia de sombra, también aumentan las necesidades de nutrientes para compensar los nutrientes extraídos durante la cosecha, por lo que es necesario aumentar las necesidades de fertilizantes en ausencia de sombra (van Vliet *et al.*, 2017). Así mismo Müller (2008) menciona que la interacción entre la fotosíntesis, el estado fenológico y la necesidad nutricional de las plantas está íntimamente relacionado con la expresión productiva de las plantas.

2.4. Estudios de nutrición y sombra en cacao

Las investigaciones sobre el cultivo de cacao se desarrollaron hace más de 40 años, estableciendo balances nutricionales en diferentes sistemas de producción y fertilizaciones a corto plazo dentro de parcelas experimentales. No obstante, todavía falta investigar sobre fisiología del árbol, efectos de prácticas culturales en el rendimiento, respuesta de fertilizantes, métodos para determinar carencias nutricionales y recomendaciones sobre fertilizantes (van Vliet *et al.*, 2017).

Nelson *et al.*, en el 2011 desarrollaron un proyecto sobre cuestiones enfocadas a la nutrición en la producción de cacao, y a su vez formularon recomendaciones para incrementar la producción dentro de zonas con suelos ácidos. Dentro del proyecto se vinculó la ciencia junto con los agricultores de cacao de la zona de Papua - Nueva Guinea. En este estudio, muchos de los productores pensaron que la escasa fertilidad del suelo y la falta de aplicación de fertilizantes podían estar limitando la productividad, ya que todos los agricultores que habían utilizado fertilizantes reportaban mejoras en el crecimiento, floración y producción de vainas. Al realizar análisis foliares se encontró que las deficiencias de N y Fe fueron las más comunes, con un 95 % para el N y un 89 % para el Fe. La aplicación de fertilizante NPK aumentó las concentraciones K y P en hojas.

Por otra parte, en un estudio realizado por Daghela *et al.*, en el 2013, se determinó que al aumentar el índice de sombreado disminuyó totalmente la tasa de reproducción de chinches móridos y barrenadores de vainas de cacao; además un rendimiento significativamente mayor bajo sombra y en la cubierta de malezas (< 50 %).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

El ensayo se ejecutó en la Estación Experimental “El Padmi” de la Universidad Nacional de Loja, ubicada en la parroquia “Los Encuentros” perteneciente al cantón Yanzatza, de la provincia de Zamora Chinchipe. Situado a $3^{\circ} 44' 47.424''$ de Latitud Sur y a $78^{\circ} 37' 10.537''$ de Longitud Oeste. La Estación posee una área de 102 95 hectáreas, y está a una altitud entre 775 y 1150 msnm (Figura 1). De acuerdo con Köppen y Geirger el clima varía entre tropical subhúmedo y tropical húmedo; es cálido y lluvioso con una temperatura media anual es de $22,8^{\circ} \text{C}$ y una precipitación de 1950 mm, repartidas de forma homogénea durante todo el año (Climate-Data.Org 2018). La zona de vida corresponde a bosque muy húmedo premontano (bh-PM) y bosque húmedo tropical (bh-T) (Cañada, 1983).

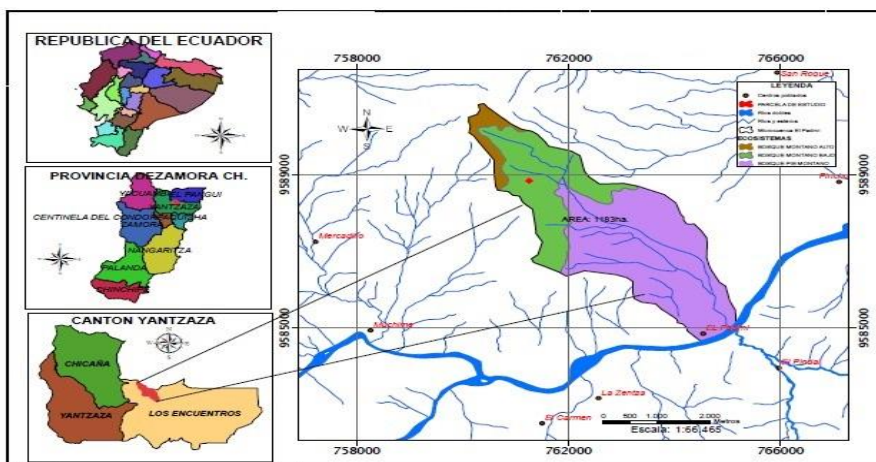


Figura 1. Localización del lugar de la investigación. Obtenido de Aguirre (2015).

3.2. Establecimiento del cultivo y manejo del ensayo

El experimento constó de tres etapas: establecimiento del cultivo, aplicación de tratamientos y registro de variables morfológicas y fisiológicas. Se utilizaron 16 plantas de cacao clon CCN51 en estado inicial de desarrollo de 90 días de edad. Previo al trasplante se realizó la adecuación del terreno mediante actividades de desbroce, debido a que el terreno provenía de un bosque secundario. Las plantas fueron establecidas usando una densidad comercial de 713,3 plantas/ha ($3,5 \text{ m} \times 4 \text{ m}$). Todas las plantas recibieron el mismo manejo agronómico, prácticas culturales y manejo de plagas y enfermedades acorde a las necesidades del cultivo, con el fin de controlar

posibles fuentes de variación. El muestreo se realizó de forma aleatoria, tomando en consideración un árbol como una unidad experimental por cada tratamiento.

3.3. Tratamientos y diseño experimental

En el presente trabajo se evaluó el efecto del sombreado y la fertilización en un periodo de cuatro meses, durante el crecimiento vegetativo de plantas de cacao. El sombreado se consiguió mediante la construcción de estructuras de madera cubiertas con malla sarán, el factor sombra tuvo dos niveles 0 % (plantas creciendo a luz natural) y 80 % (malla que intercepta el 80 % de la radiación solar incidente). La malla sarán en los cultivos bajo sombra se instaló a dos metros de altura desde el suelo y se mantuvo así durante todo el tiempo de ejecución del ensayo (Imagen 3, Anexo 4).

El factor fertilización también tuvo dos niveles, sin fertilización y fertilizadas. La dosis de fertilización (Anexo 3), fue calculada en función del análisis de suelos y los requerimientos nutricionales del cacao en la etapa juvenil (Anexo 2). Los fertilizantes fueron aplicados en corona alrededor de las p136-14-156-47-113 kg/ha de N, P, K, Mg y Ca respectivamente.

Los tratamientos empleados se describen en la tabla 1, y su distribución en la figura 2.

Tabla 1. Niveles de los factores sombra y fertilización llevados a cabo en la investigación.

Número de tratamiento	Nombre del Tratamiento	Sombra (%)	Fertilización (%)
T1	Testigo	0	0
T2	Fertilizado	0	100
T3	Sombreado	80	0
T4	Sombreado y fertilizado	80	100

El ensayo fue establecido bajo un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo bifactorial (sombra y fertilización), siguiendo el siguiente modelo estadístico:

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

Donde, Y_{ij} es la variable evaluada, μ es la media de las observaciones, α_i representa el efecto del ecotipo, β_j representa el efecto de la localidad, $(\alpha\beta)_{ij}$ representa la interacción entre los factores, y el residual ε_{ij} representa el efecto aleatorio.

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

Unidad experimental: 1 planta

Número total de plantas: 16 plantas

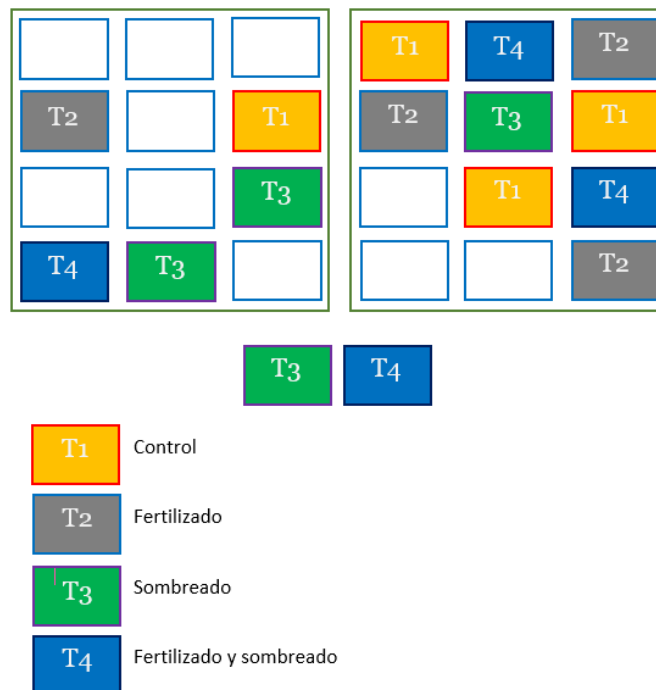


Figura 2. Distribución de las plantas de cacao CCN51 en el campo.

3.4. Metodología para el primer objetivo

Analizar los efectos de distintos niveles de sombra y nutrición sobre variables morfológicas de crecimiento en cacao

Para el cumplimiento del primer objetivo se evaluaron las siguientes variables: diámetro del tallo, altura de planta, longitud del brote, tasa de crecimiento absoluta y tasa de crecimiento relativa, las cuales se midieron con una periodicidad de 20 días. En cambio, el área de la sección transversal del tronco se midió una vez al inicio y otra al final del ensayo, y el área foliar únicamente al finalizar el ensayo.

Diámetro del tallo

Para la medición del diámetro del tallo se utilizó un calibrador digital, a una altura de 5 cm sobre el suelo.

Altura de planta

Este indicador se midió con una cinta métrica desde el cuello o base de la planta hasta el ápice.

Área de sección transversal del tronco (ASTT)

Se midió el perímetro del tronco a 5 cm desde el suelo con un calibrador digital, a partir del cual se obtuvo su área utilizando la siguiente fórmula matemática: $ASTT = \frac{C^2}{4\pi}$. Esta medición se realizó dos veces, la primera al inicio del ensayo y la segunda al final.

Longitud de brote

Se seleccionó y etiquetó un brote por planta de cada tratamiento, posicionado en el tercio medio de la altura de la planta, para medir su crecimiento longitudinal en centímetros con una cinta métrica.

Tasa de crecimiento absoluta (TCA)

Al brote marcado para la longitud se le determinó la TCA para observar el incremento de longitud del órgano por unidad de tiempo, mediante la siguiente fórmula: $TCA = \Delta L / \Delta t$.

Tasa de crecimiento relativa (TCR)

Sobre el brote marcado para determinar la longitud se calculó la TCR, que corresponde al incremento de longitud por unidad de tamaño y por unidad de tiempo, haciendo uso de la siguiente fórmula: $TCR = 1 / Li * \Delta L / \Delta t$

Longitud y número de metámeros

En el brote seleccionado, se contabilizó el número de entrenudos y con base en su longitud total, por división, se obtuvo una longitud promedio de metámeros en el brote. Esta medición se realizó con una cinta métrica al final de cada fase de crecimiento.

Área foliar

Al final del ensayo se seleccionaron 25 hojas de cacao al azar, a las cuales se midió el largo y ancho con una cinta métrica, y a las mismas hojas por medio de fotografía y haciendo uso del *software Photoshop* se cuantificó el área foliar; posterior a ello a través de *Excel* se obtuvo una ecuación que permitió calcular el área foliar solamente con el ancho de las hojas. Al finalizar se seleccionaron todas las hojas de la planta de cacao CCN51 completamente expandidas, se les midió el ancho, y solo con ese dato a través de cálculos matemáticos se obtuvo el área de cada hoja y luego el área foliar de toda la planta.

3.5. Metodología para el segundo objetivo

Determinar la influencia de dos niveles de sombra y nutrición sobre parámetros fisiológicos y nutricionales durante el crecimiento temprano de cacao

Para el cumplimiento del segundo objetivo se evaluaron variables fisiológicas al finalizar el ensayo, las cuales se describen a continuación, a excepción del pH el cual se midió cada 20 días, a partir de la primera fecha de toma de datos, hasta finalizar el ensayo.

Concentración de clorofila

Esta variable se evaluó al finalizar el ensayo, a los 80 días después de la aplicación de los tratamientos (DDT) y se determinó la concentración de clorofila a, b y total con el protocolo de análisis de clorofila por espectrofotometría (Rodés y Collazo, 2006).

Se comenzó con el tratamiento de las muestras, que consistió en tomar dos hojas de cacao clon CCN51 totalmente sanas y funcionales, las mismas que fueron lavadas, secadas y se les eliminó la base, el ápice y los bordes; luego se cortaron secciones pequeñas de hoja sin nervaduras.

Para extraer los pigmentos de las hojas se pesaron 0,5 gramos de hojas seccionadas anteriormente, colocándolas en tubos de ensayo, los cuales fueron previamente envueltos en papel aluminio para evitar que penetren los rayos solares, a ello se le añadió 3 mL de etanol al 90 % de modo que los segmentos queden sumergidos en el solvente orgánico, seguidamente se llevó las muestras a baño maría a 80° C durante veinte minutos, con la finalidad de que los pigmentos (clorofila) salgan al exterior y se disuelvan en el solvente, al cabo de este tiempo los segmentos quedaron totalmente decolorados y el solvente de color verde, por último se extrajo los restos de muestra de los tubos.

Para cuantificar los pigmentos se tomó 1 mL del sobrenadante de cada uno de los extractos y se diluyó hasta 5 mL con el solvente utilizado, después se midió en un espectrofotómetro a longitud de onda de 645 y 663 nm, siguiendo la metodología sugerida por Mckinney, (1941); y utilizando las siguientes fórmulas.

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

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

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

Densidad estomática

Se aplicó la técnica de la impronta (Barrientos *et al.*, 2003), la cual consistió en utilizar una fina capa de esmalte para uñas transparente en un área pequeña del lado abaxial de la hoja; después que el esmalte se secó, la capa fue removida y montada en un portaobjetos. A partir de las dos hojas tomadas anteriormente se tomaron dos improntas de la región de la parte central entre las venas secundarias, los estomas se observaron en el microscopio con un aumento de 10X y mediante el uso del programa *MicroCam 5.7* se procedió a fotografiar marcando un cuadro de 120000 μm^2 , siendo esa área la destinada para el conteo. El dato obtenido se lo transformó y expresó en número de estomas por mm^2 .

Índice de área foliar (IAF)

Utilizando el área foliar obtenida anteriormente y una superficie de suelo equivalente a la distancia de siembra (3,5 m x 4 m) se determinó el IAF haciendo uso de la siguiente fórmula: **IAF**= área foliar / superficie del suelo. Este valor fué adimensional.

pH del suelo y conductividad eléctrica

Durante un periodo de cuatro meses, cada 20 días se realizó el análisis de pH del suelo y conductividad eléctrica en el laboratorio de análisis químicos de la Universidad Nacional de Loja, tomando una muestra por cada tratamiento y por repetición. Para ello se recolectó 100 gramos de suelo y siguiendo el protocolo establecido por el laboratorio.

3.6. Análisis estadístico

Los datos ingresados en el programa estadístico fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) bifactorial, tras comprobar los supuestos de homogeneidad de varianzas y normalidad, y pruebas de comparaciones múltiples mediante el Test de Tukey al 95 %. Adicionalmente se realizaron análisis de correlación de Pearson para determinar la asociación entre las siguientes variables: altura de planta, diámetro del tallo, pH del suelo, área de la sección transversal del tronco (ASTT), área foliar, índice de área foliar (IAF), longitud del brote, número de metámeros, longitud de metámeros, Tasa de crecimiento absoluta (TCA), Tasa de crecimiento relativa (TCR). Posterior a ello los gráficos se los realizó utilizando el programa *GraphPAD* 8.0.

4. RESULTADOS

4.1. Variables morfológicas

Altura de planta

El crecimiento de las plantas de cacao, en todas sus repeticiones y tratamientos mantuvo un incremento constante, sin embargo, en ningún tiempo de medición presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos (Figura 3).

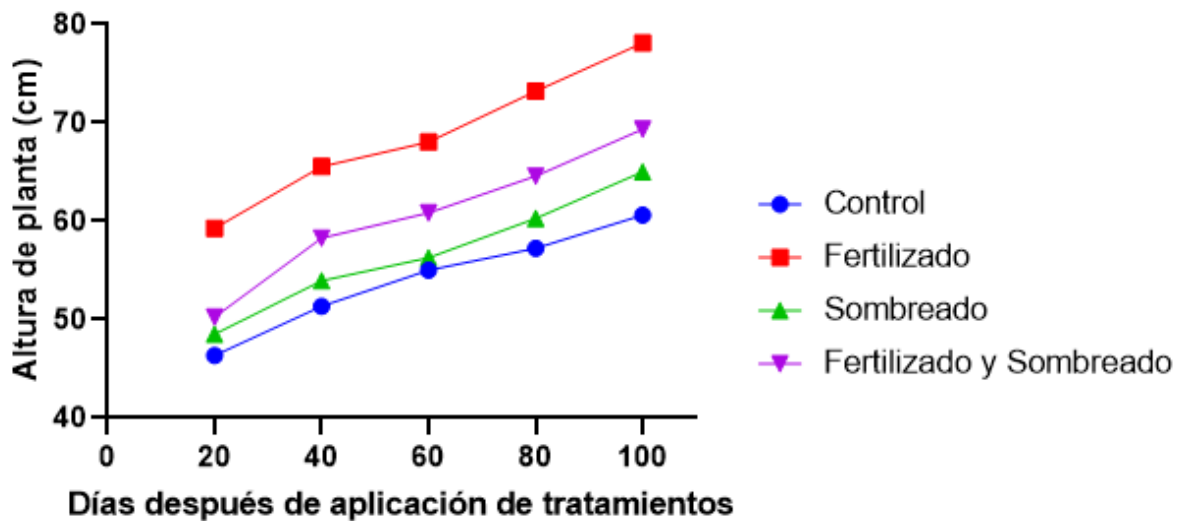


Figura 3. Crecimiento de plantas de cacao clon CCN51 desde los 20 a 100 días después de la aplicación de tratamientos, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$)

Diámetro del tallo

Durante el periodo de evaluación, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, pero existió la influencia de la sombra para lograr valores regulares de diámetro del tallo en las plantas de cacao CCN51 sometidas al sombreado al 80 %.

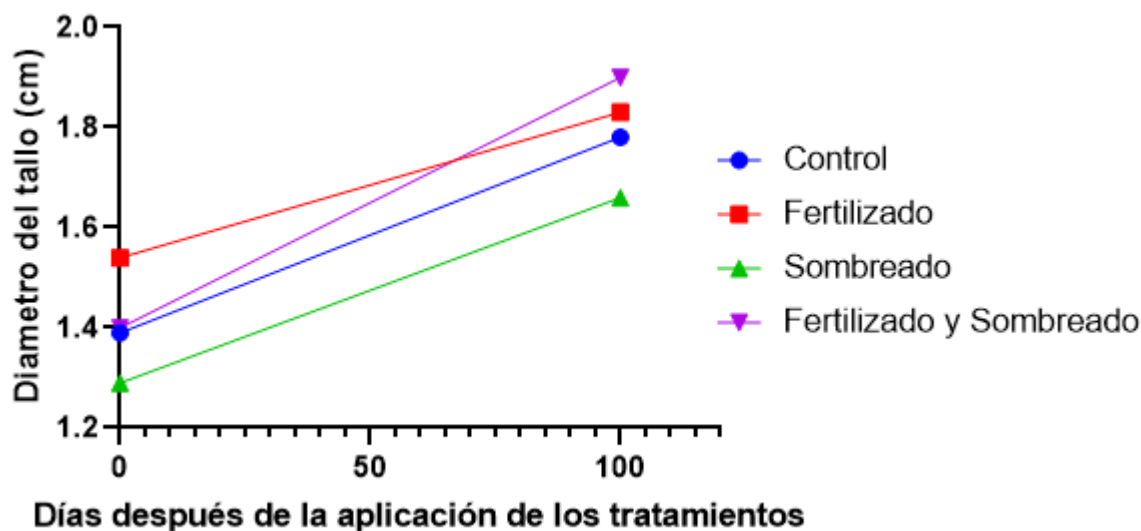


Figura 4. Expresión del crecimiento del diámetro del tallo en plantas de cacao clon CCN51, tomadas al inicio y final del ensayo, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$)

Área de la sección transversal del tronco

En lo que respecta al área de la sección transversal del tronco, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) en las evaluaciones realizadas al inicio y al finalizar el ensayo, obteniéndose un valor de $1,40 \text{ cm}^2$ bajo sombra y $1,97 \text{ cm}^2$ de ASTT con fertilización (Tabla 2); mientras que al final del ensayo el valor mínimo fue de $2,43 \text{ cm}^2$ para el tratamiento de sombra y $2,86 \text{ cm}^2$ para la interacción sombra – fertilización.

Tabla 2. Área de la sección transversal del tronco (ASTT) al inicio y al final de la evaluación del ensayo. No se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$)

Tratamientos	ASTT (cm^2) inicial	ASTT (cm^2) final
Control	1,59 a	2,61 a
Fertilizado	1,97 a	2,71 a
Sombreado	1,40 a	2,43 a
Fertilizado y Sombreado	1,55 a	2,86 a

Longitud del brote

La elongación de los brotes durante el tiempo de evaluación se mantuvo en crecimiento constante, en la primera evaluación realizada a los 20 días después de la aplicación de tratamientos no se presentaron diferencias significativas (Figura 5), mientras que a partir de la segunda evaluación hasta el final del ensayo sí existieron diferencias significativas entre el tratamiento de fertilización frente al resto de tratamientos.

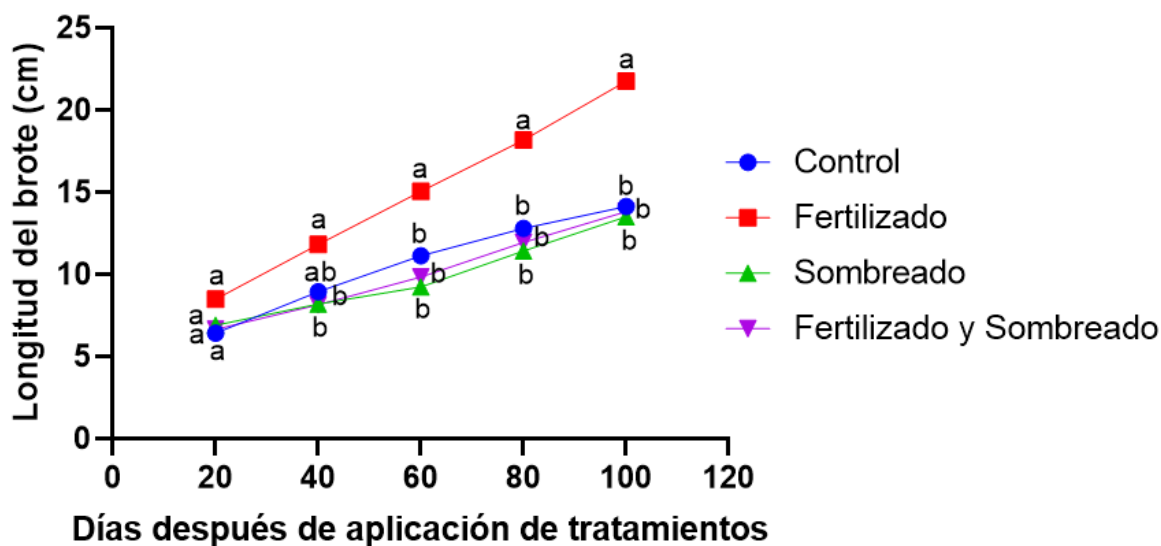


Figura 5. Crecimiento de brotes desde los 20 a 100 días después de la aplicación de tratamientos (DDT). Letras distintas en una misma fecha indica que existen diferencias estadísticas significativas Tukey ($p < 0,05$).

Tasa de crecimiento absoluta (TCA)

En la tabla 3 se observó diferencias significativas para todas las evaluaciones, a excepción de la evaluación realizada a los 60 DDT. En la primera y segunda evaluación realizada a los 20 y 40 días respectivamente, se tuvo una tasa de crecimiento absoluta correspondiente al de fertilización (T2) y control (T1); obteniéndose valores superiores a los otros dos tratamientos.

Tabla 3. Tasa de crecimiento absoluta de los brotes después de cada aplicación de los tratamientos (DDT), las TCA se expresan en cm/día. Letras distintas en una misma fecha indica que existen diferencias estadísticas significativas Tukey ($p < 0,05$).

Tratamientos	TCA 20 DDT	TCA 40 DDT	TCA 60 DDT	TCA 80 DDT
Control	0,13 ab	0,11 ab	0,08 a	0,07 b
Fertilizado	0,17 a	0,16 a	0,16 a	0,18 a
Sombreado	0,07 b	0,05 b	0,11 a	0,10 ab
Fertilizado y Sombreado	0,08 b	0,09 b	0,11 a	0,09 ab

Tasa de crecimiento relativa (TCR)

Se puede observar en la tabla 4 que no existió efecto de los tratamientos sobre la tasa de crecimiento relativa ($p < 0,05$) a los 20, 40, 60 y 80 DDT, en donde el rango mínimo de TCR correspondió a 0,01 y el máximo a 0,02.

Tabla 4. Tasa de crecimiento relativa del brote después de cada aplicación de tratamientos (DDT), las TCR se expresan en mm.cm/día. No se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$)

Tratamientos	TCR 20 DDT	TCR 40 DDT	TCR 60 DDT	TCR 80 DDT
Control	0,02	0,01	0,01	0,01
Fertilizado	0,02	0,01	0,01	0,01
Sombreado	0,01	0,01	0,01	0,01
Fertilizado y Sombreado	0,01	0,01	0,01	0,01

Longitud y número de metámeros

En la tabla 5 se encuentran datos correspondientes a las características de los brotes, mismas que en número de metámeros no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) presentando un rango de 5 a 10 brotes por planta de cacao clon CCN51; en lo que corresponde a longitud de metámeros si hubieron diferencias significativas entre el T2 correspondiente a la aplicación de fertilizantes y sombreado frente al testigo y la interacción de los mismos.

Tabla 5. Longitud y número de metámeros al finalizar la evaluación del ensayo. Letras distintas en una misma fecha indica que existen diferencias estadísticas significativas Tukey ($p < 0,05$).

Tratamientos	Número de metámeros	Longitud de metámeros (cm)
Control	10,75 a	1,57 b
Fertilizado	7,25 a	3,18 a
Sombreado	5,25 a	2,61 ab
Fertilizado y Sombreado	8,75 a	1,59 b

Área foliar

En la figura 6 se muestra la ecuación, junto con la regresión obtenida con un valor de $R^2 = 0,9826$.

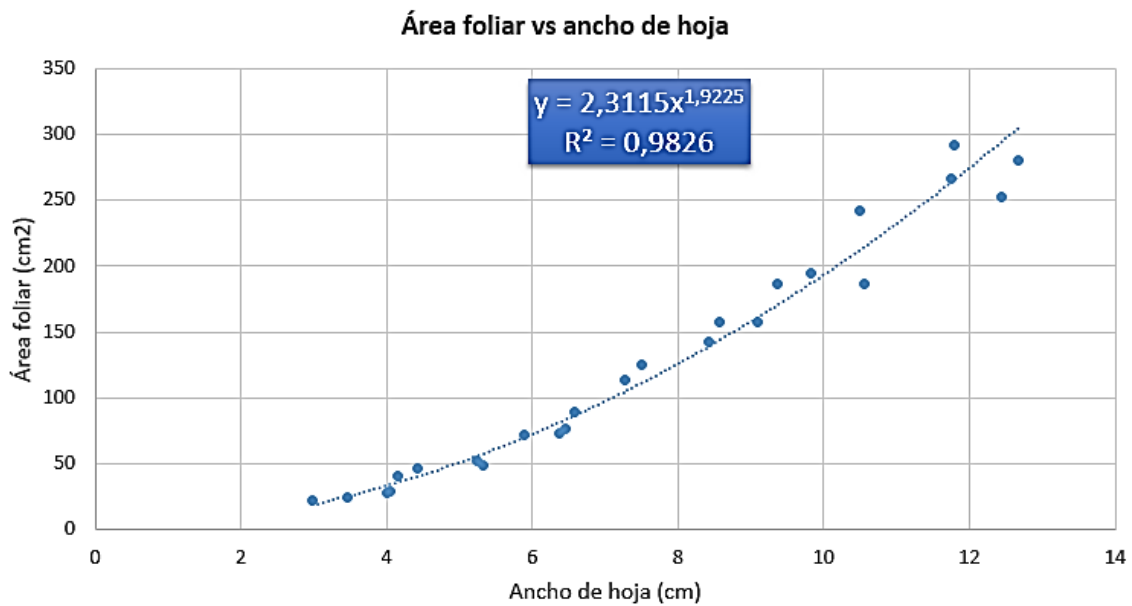


Figura 6. Curva de regresión obtenida entre el ancho de hoja y área foliar.

De acuerdo a los datos obtenidos de área foliar (Figura 7A) no presentaron diferencias estadísticas significativas al finalizar el ensayo a los 100 días de aplicación de los tratamientos, a pesar que en esta variable los datos más altos correspondieron al tratamiento de sombreado, superiores a los demás tratamientos y el testigo. En cuanto al área foliar del brote no existieron diferencias significativas entre los tratamientos, pero la interacción fertilización-sombreado, juntamente con el tratamiento de fertilización tienen los valores más altos como se observa en la figura 7B, sobre el tratamiento de sombra y el testigo.

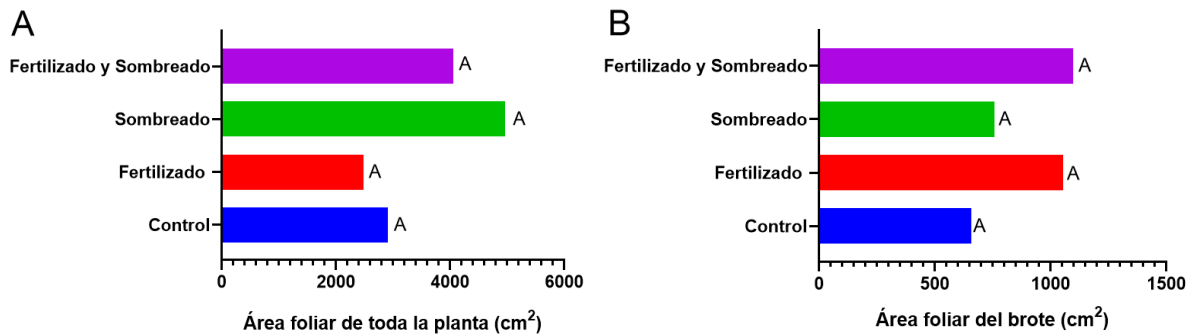


Figura 7. A. Área foliar de plantas de cacao clon CC51 y **B.** Área foliar del brote por cada tratamiento, a los 100 días después de la aplicación de los tratamientos, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$).

4.2. Variables fisiológicas

Concentración de clorofila

La concentración de clorofila total en la etapa vegetativa de cacao clon CCN51, a los 80 días después de la aplicación de tratamientos no presentó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos de sombra, nutrición y su interacción frente al control o testigo. Pese a que no existieron diferencias significativas ($p > 0,05$) la interacción sombra – nutrición, se observaron diferencias aritméticas, con valores más altos de concentración de clorofila expresados en mL/g, como se muestra en la figura 8, a continuación el T2 correspondiente a fertilización luego el sombreado y el control.

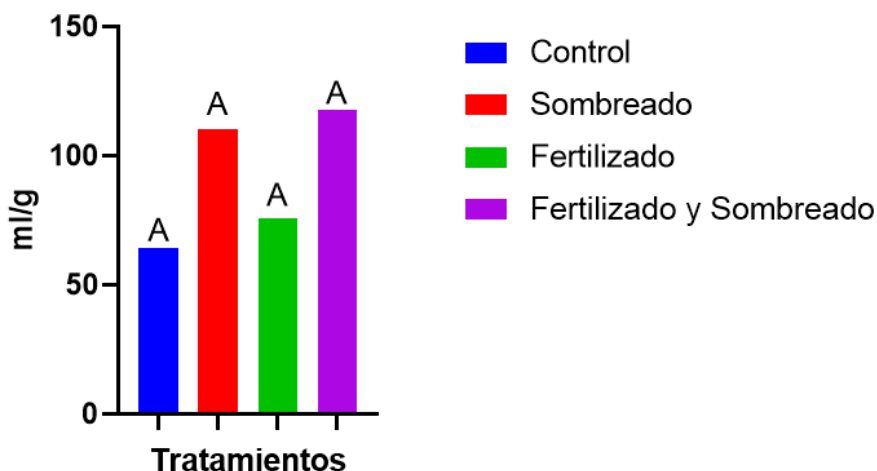


Figura 8. Concentración de clorofila total, contenida en hojas de cacao clon CCN51, a los 100 días después de la aplicación de los tratamientos, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$).

Densidad estomática

La tabla 6 muestra que el número de estomas por mm^2 presenta diferencias significativas entre el tratamiento que corresponde a fertilización frente al testigo, sombreado y la interacción. El T2 presenta el mayor número de estomas correspondiente a 1066 estomas/ mm^2 , cuyo valor se diferencia de los demás tratamientos, a continuación el testigo con 958, luego el sombreado con 908 y por último la interacción con 883 estomas/ mm^2 .

Tabla 6. Densidad estomática en hojas de cacao clon CCN51 al finalizar la evaluación del ensayo. Letras distintas en sentido vertical indican que existen diferencias estadísticas significativas Tukey ($p < 0,05$).

Tratamientos	Densidad estomática (estomas/mm ²)
Control	958 b
Fertilizado	1066 a
Sombreado	908 b
Fertilizado y Sombreado	883 b

Índice de área foliar

En la figura 9 correspondiente al índice de área foliar se muestra que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo, aunque el valor más alto de IAF correspondió al sombreado, seguido de la interacción sombra – fertilización, el testigo y el de fertilización.

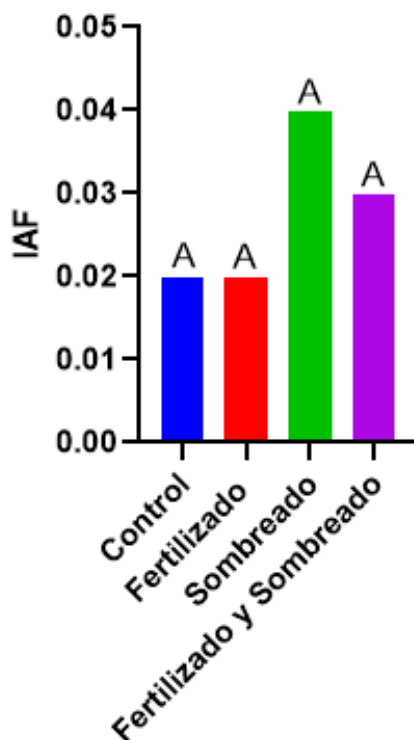


Figura 9. Índice de área foliar, a los 100 días después de la aplicación de los tratamientos, no existen diferencias significativas ($p > 0,05$).

pH del suelo y conductividad eléctrica

En la figura 9 se observó que no existen diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos de sombra, nutrición y su interacción. El pH inicial obtenido a través de un análisis de suelo al inicio del ensayo fue de 5,53. Luego 20, 40, 60 y 80 días de aplicación de los tratamientos se tuvo como resultado que el pH determinado de forma individual por tratamiento no presentó diferencias estadísticamente significativas, cuyo punto más ácido correspondió al tratamiento de fertilización a los 40 días de aplicación de los tratamientos y el más ácido entre los demás tratamientos. El T3, T1 y T4 se encuentran por encima del tratamiento de fertilización. Asimismo, en la figura 10, se expresaron los valores de conductividad eléctrica, registrados en cada evaluación durante 20 días, en dónde hasta los 70 días después de la aplicación de los tratamientos se mantiene un valor < 1 dS/m; y a partir de los 80 días este valor es mayor a 1 dS/m para el tratamiento de fertilización y la interacción, pese a ello no presentaron diferencias significativas.

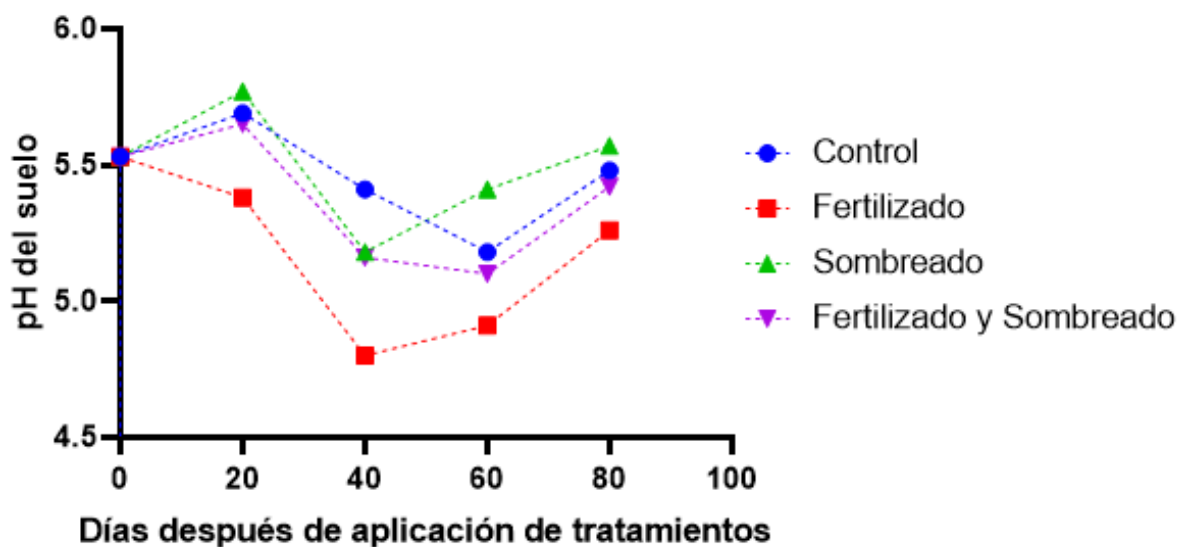


Figura 10. Expresión de la variación del pH del suelo en el cultivo de cacao clon CCN51, durante la fase de aplicación de tratamientos, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$).

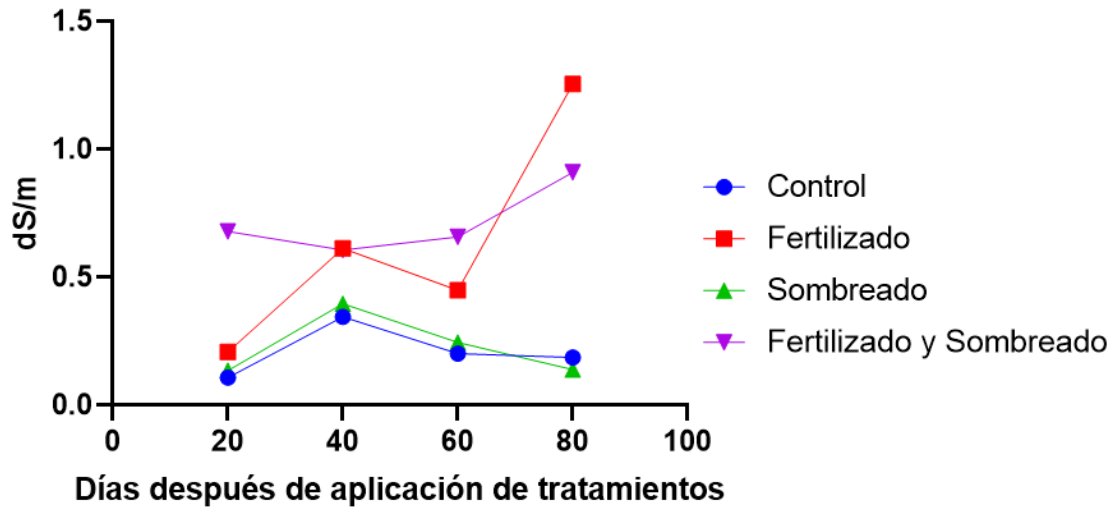


Figura 11. Expresión de la conductividad eléctrica del suelo en el cultivo de cacao clon CCN51, durante la fase de aplicación de tratamientos, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$).

4.3. Correlaciones entre variables

Al realizar el análisis de correlación entre las variables evaluadas se encontró una correlación lineal positiva alta ($p < 0,05$) entre área foliar e índice de área foliar con un coeficiente de Pearson de 1 y altamente significativo ($p < 0,0001$), seguido por la relación entre el diámetro del tallo y el área de la sección transversal del tronco (ASTT) con un coeficiente de Pearson de 0,99; continuando con la asociación entre longitud de brote y tasa de crecimiento absoluta (TCA), TCA y TCR, siendo los valores más altos entre las asociaciones positivas con un coeficiente de Pearson $> 0,80$. Las demás correlaciones negativas mantienen un coeficiente que se mantiene en un rango entre 0,60 y 0,80 (Tabla 7).

En cuanto a las correlaciones negativas, se observó una asociación alta entre la altura de planta y pH del suelo con un coeficiente de Pearson de -0,77 y altamente significativo ($p < 0,0004$), seguido por la relación entre diámetro del tallo y pH del suelo con un coeficiente de -0,7.

Tabla 7. Correlaciones entre variables morfológicas y fisiológicas medidas en cacao, con un coeficiente de correlación de Pearson $> 0,60$ y con un p-valor $< 0,05$

Variable 1	Variable 2	N	Pearson	p-valor
Altura de planta	Diámetro del tallo	16	0,74	0,001
	pH del suelo	16	-0,77	0,0004
	ASTT	16	0,73	0,0013
	Área foliar	16	0,68	0,0039
	IAF	16	0,68	0,0039
Diámetro del tallo	pH del suelo	16	-0,7	0,0028
	ASTT	16	0,99	0,0001
	Área foliar	16	0,63	0,0082
	IAF	16	0,63	0,0082
pH del suelo	ASTT	16	-0,63	0,0085
ASTT	Área foliar	16	0,65	0,0064
	IAF	16	0,65	0,0064
Longitud del brote	TCA	16	0,82	0,0001
	TCR	16	0,71	0,0019
TCA	TCR	16	0,84	0,0001
Número de metámeros	Longitud de metámeros	16	-0,68	0,0036
Área foliar	IAF	16	1	0,0001

5. DISCUSIÓN

Uno de los problemas del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) es el bajo potencial productivo de algunas zonas de cultivo. Por ejemplo, en la provincia de Zamora Chinchipe, en donde la baja productividad, parece estar estrechamente relacionada a inadecuadas prácticas agrícolas, mismas que se llevan de forma empírica. Sumado a ello la edad avanzada de las plantaciones de cacao, la alta incidencia de enfermedades y condiciones edafoclimáticas adversas del cultivo.

En la presente investigación se estudió el efecto de distintos niveles de sombreado y nutrición vegetal, así como su interacción sobre variables morfo-fisiológicas durante la etapa vegetativa del cultivo de cacao clon CCN51.

En cuanto a las variables morfológicas correspondientes a altura de planta, área de la sección transversal del tronco, longitud de brote, tasa de crecimiento absoluta (TCA), longitud de metámeros; a pesar que no existieron diferencias estadísticas significativas, se cree que la nutrición suministrada en este ensayo, tuvo un efecto en el mayor desarrollo vegetativo mostrado en plantas de cacao clon CCN51. A los 100 días de evaluación de los tratamientos se registró el mayor valor de altura de planta correspondiente (78,13 cm). Lo cual contrasta con lo que menciona Carrión (2012) el cual registró valores de planta, aduciendo que esta especie es de crecimiento erecto, de baja altura, lo que facilita y abarata las labores agronómicas tales como poda y cosecha, entre otras”. El mismo autor menciona que las plantas de CCN51 pueden llegar a medir hasta 20 metros de altura si se lo deja crecer libremente bajo sombra intensa. El resultado obtenido se contradice con lo que menciona Arvelo *et al.*, (2017) “brindar sombra temporal a las plantas de cacao jóvenes les ayuda a acelerar su crecimiento, contribuye a reducir la evapotranspiración y genera cobertura ante la radiación solar directa”.

No existieron diferencias significativas entre el tratamiento de fertilización sobre el resto de tratamientos, debido a que como se evidencia en el análisis de suelo (Anexo 2), la mayoría de nutrientes se encuentran en buena cantidad, existiendo solamente deficiencias de boro y azufre. Asimismo, Sánchez (2005) señala que el suelo para el cultivo de cacao debe tener materia orgánica que incrementa la retención de humedad y nutrientes, y así disminuye la compactación; en el ensayo el contenido de materia orgánica presente en el suelo fue de 11,40 %. En cuanto a la longitud de los brotes a los 20 días después de la aplicación de los tratamientos (DDT) no hubo diferencias significativas, mientras que a partir de los 40 hasta los 100 DDT entre el tratamiento de fertilización frente al resto, sí hubo diferencias significativas, esto debido quizás a que como menciona Paredes (2007), la aplicación de fertilizantes en el suelo, estimula el crecimiento vegetativo de la planta, así como sus ramificaciones.

Hunt, (1982) señala que la tasa de crecimiento absoluta (TCA) y la tasa de crecimiento relativa (TCR) se muestran como indicadores de la relación fuente-vertedero, lo cual es importante para establecer actividades agronómicas tendientes a incrementar la cantidad de biomasa relacionados con el grosor del tallo o estructura vegetal referidos con el largo del brote, en un periodo determinado, con el fin de mejorar los procesos productivos en cultivos (Lambers *et al.*, 2008). La TCA de la longitud del brote, a los 20, 40 y 80 DDT presentó diferencias significativas en el tratamiento de fertilización frente al resto de tratamientos, siendo valores entre 0,16 y 0,18 cm/día para el tratamiento de fertilización, valores evidentemente altos en comparación a los demás tratamientos donde los valores estuvieron en el rango de 0,07 y 0,13 cm/día.

La producción de cacao en el mundo, en general, se hace bajo sistemas tradicionales, los rendimientos son bajos, excepto en algunas condiciones muy particulares. En promedio, en el mundo, se producen 550 kg/ha, en Ecuador con el clon CCN51 alcanza 2,0 t/ha, en Indonesia se reportan hasta 3,0 t/ha. La principal estrategia para obtener estos rendimientos es ubicar el cultivo en óptimas condiciones agroecológicas y una correcta aplicación de fertilizantes (Leiva, 2015).

La nutrición vegetal es un proceso que permite a las plantas absorber los minerales que requieren para su crecimiento y desarrollo vegetativo; por tal razón el manejo de la nutrición potencia las actividades metabólicas de la planta y la convierte en una máquina productiva natural, que optimiza el aprovechamiento de nutrientes para lograr una máxima productividad posible en las condiciones que se encuentre (Leiva, 2015), es por esto que la nutrición suministrada en el ensayo parece ser la correcta para el cultivo de cacao, los resultados lo evidencian ya que en los análisis estadísticos efectuados a pesar de que no hubieron diferencias entre tratamientos, el más destacado en las variables de crecimiento fue el de fertilización.

La aplicación de fertilizantes se realizó de forma suministrada en varias aplicaciones, según los requerimientos nutricionales del cultivo de cacao y mediante un análisis de suelo realizado previamente, tal y como lo menciona Arvelo *et al.*, (2017) el cual señala que es recomendable realizar la fertilización de los cacaotales en función al análisis de suelo del terreno y a partir de ello establecer un plan de nutrición adecuado. Asimismo, concuerda con Enríquez, (2004) quien recomienda administrar los fertilizantes en tres o cuatro aplicaciones, con la finalidad de evitar pérdidas de nutrientes por volatilización o lixiviación, facilitándose así a la planta los elementos nutritivos en las épocas más adecuadas para un mejor aprovechamiento.

A pesar de haber obtenido mayor desarrollo en las plantas sometidas solamente a fertilización, cabe señalar que existió una competencia por nutrientes entre el cultivo con la maleza, factor que influyó negativamente en el crecimiento y desarrollo vegetativo de las plantas de cacao clon CCN51; concordando con lo que señala Arvelo *et al.*, (2017) que las malezas o hierbas indeseables compiten con el cacao por nutrientes, el anhídrido carbónico, el agua y la luz. El daño causado por esta competencia, es muy importante en la etapa de establecimiento y la fase juvenil del cacaotal, en la cual la presencia y agresividad de la maleza depende de la condición original del terreno, el tipo de sombra temporal y el manejo agronómico del árbol de cacao como la poda, fertilización y distancias de siembra.

Los fertilizantes fueron aplicados de forma directa en el suelo alrededor de la planta a una distancia de 20 cm, concordando con lo que menciona Arvelo *et al.*, (2017) que durante la fase de establecimiento los fertilizantes deben aplicarse en un anillo ancho alrededor de cada planta, a una distancia conveniente del tallo para no causarle daño.

El área foliar e índice de área foliar (IAF), estuvieron influenciados por la sombra, para así lograr el mayor desarrollo vegetativo. El tratamiento de sombreado al 80 % alcanzó un área foliar total de 4 959 cm², acompañado de un IAF de 0,04. Esto concuerda con Gómez, (2002) quien realizó una investigación en el cultivo de cacao en donde se evaluó el efecto de diferentes intensidades de luz sobre el intercambio gaseoso y desarrollo del cacao criollo, probando distintos niveles de sombreado 0, 40, 60 y 80 % en donde el valor más alto correspondiente a área foliar (cm²) fue para el tratamiento de sombreado al 80 %. En cuanto a los niveles de sombra, Arvelo *et al.*, (2017) señalan que el cacao requiere de una sombra adecuada para evitar daños y lograr un buen desarrollo inicial, y que la sombra puede ser de tipo temporal durante los primeros años de la plantación o permanente, pero a su vez hace mención de los efectos y beneficios que trae consigo el uso de sombra al iniciar una plantación de cacao, ya que la sombra reduce la exposición de las plantas a la luz solar y al movimiento del aire y puede causar daño físico a las plantas de cacao.

En la presente investigación no se evaluaron rendimientos, pero es necesario hacer mención que el uso de la sombra para plantaciones ya establecidas, niveles de sombreado mayores al 50 % limitan los rendimientos, mientras que niveles de sombreado inferiores al 50 % los aumenta, pero reduce la vida productiva del árbol (Guamán, 2007). El clon CCN51 puede ofrecer rápidamente un rendimiento alto y consistente a los productores de cacao, y al mismo tiempo prosperar en sistemas de monocultivo sin sombra (Cadby, 2019).

Asimismo, a través del manejo del sombreado, se pueden controlar ciertos factores climáticos que son claves para el desarrollo vegetativo del cultivo de cacao, tales como radiación solar y humedad relativa que son factores que interfieren en los mecanismos fisiológicos de las plantas Müller (2008). En la investigación se utilizó malla sarán al 80 % como sombra temporal, aunque

ANACAFÉ (2004) señala que para aportar sombra en la plantación de cacao se vienen empleando, generalmente, árboles frutales intercalados en marcos de plantación regulares. Las especies más empleadas son las musáceas (plátano, banano) para sombras temporales y de especies el género *Inga* (*Inga edulis*, *Inga feuillei*, etc) para sombras permanentes. En nuevas plantaciones de cacao se están empezando a emplear otras especies de sombra que otorgan un mayor beneficio económico como son especies maderables (cedro, Palo Blanco) y/o frutales (cítricos, aguacate, zapote).

Las variables fisiológicas evaluadas tales como densidad estomática, pH del suelo y conductividad eléctrica tuvieron influencia de la aplicación de fertilizantes en el suelo; a excepción de la concentración de clorofila en donde no existieron diferencias significativas, pero, a pesar de ello la interacción sombra – nutrición, presentó los valores más altos de clorofila total (117 mL/g), seguido del tratamiento de sombreado al 80 % (110,4 mL/g), el tratamiento de fertilización (75,87 mL/g) y el testigo (64,27 mL/g), lo que concuerda con Guamán (2007) aclarando que la luz es otro de los factores ambientales de suma importancia para el desarrollo del cacao, especialmente para la fotosíntesis, la cual ocurre a baja intensidad aun cuando la planta este a plena exposición solar.

Mientras que Acheampong *et al.*, (2012) señalan que el cacao es una especie tolerante a la sombra, en la que un sombreado adecuado conduce a tasas fotosintéticas, crecimiento y rendimiento de semillas relativamente altos. Debido al aumento de la fotosíntesis, las plantas requieren mayores cantidades de nutrientes; por tanto, se debe procurar un aporte acorde a las necesidades del cultivo (frecuencia y cantidad); puesto que la capacidad fotosintética está correlacionada con la concentración de nitrógeno en las hojas y, en plantas muy sombreadas dosis altas de nitrógeno disminuyen la tasa fotosintética (Costa *et al.*, 2001).

Leiva (2015) menciona que en experimentos realizados en Brasil, se ha encontrado que la fertilización del cacaotero bajo sombra, produce pequeños incrementos en producción, mientras que a pleno sol hay incrementos considerables en rendimiento de grano. La fotosíntesis es más intensa en plantación sin sombra, con alta respuesta a la fertilización. Asimismo, en Santander-

Colombia, se documentó la necesidad de fertilizar cacaoteras a plena exposición solar, por la intensa actividad fotosintética que se refleja en altos rendimientos. Obtuvieron respuesta a la fertilización con N, P, y K, lo que sugiere que, a plena exposición, y una adecuada fertilización puede ser rentable este cultivo con rendimientos sostenidos a través del tiempo.

El pH del cultivo de cacao en el que se aplicó el ensayo fue de 5,53; valor que se encuentra dentro del rango reportado por Vázquez *et al.*, (2010) y Dostert *et al.*, (2011) quienes mencionaron que las plantas de cacao toleran un pH de 5,0 a 7,5; por debajo de estos niveles se debe realizar un encalado del cultivo. A su vez, Paredes (2007) es más estricto en cuanto a los valores de pH, señalando que el cacao se desarrolla eficientemente cuando el pH se encuentra en el rango de 6,0 a 6,5; permitiendo obtener buenos rendimientos. Sin embargo, también se adapta a rangos extremos desde los muy ácidos hasta los muy alcalinos cuyos valores oscilan de pH 4,5 hasta el pH de 8,5; donde la producción es decadente o muy deficiente; en estos suelos se debe aplicar correctivos.

Además de tener un pH óptimo, el suelo debe tener materia orgánica que incrementa la habilidad del suelo para retener nutrientes y disminuir la compactación, entre otros beneficios (Sánchez, 2005), dato que concuerda con la presente investigación en donde el análisis de suelo (Anexo 1) muestra que el contenido de materia orgánica del suelo en donde se llevó a cabo el ensayo fue de 11,40 %, un valor relativamente alto.

Durante el proceso de aplicación de fertilizantes existió una influencia de los mismos sobre el pH del suelo a partir de los 20 días después de la aplicación de los tratamientos, por lo que el suelo se acidificó aún más en los 40 y 60 días después de la aplicación de los tratamientos, mientras que se estabilizó a los 80 días, juntamente con los demás tratamientos en un rango entre 5,26 a 5,57; asimismo, se debe tener en consideración la precaución de aplicar fertilizantes que acidifiquen aún más el suelo, debido a que disminuyen la disponibilidad de los elementos: Ca, Mg, P y Zn para las plantas; y elevando la concentración de elementos tales como: Al, Fe y Mn en el suelo.

En cuanto a la conductividad eléctrica del suelo, a partir de los 70 días se registra un valor superior a 1 dS/m correspondiente al tratamiento de fertilización; según Álvarez (2020) este valor es ocasionado por los fertilizantes aplicados, ya que todos los fertilizantes son sales y cada uno tiene un índice de salinidad, si se deja de fertilizar ese valor disminuirá, sin embargo a pesar de este incremento, la conductividad eléctrica se encuentra dentro de rangos normales para suelos agrícolas.

Con respecto a las relaciones de importancia agronómica del análisis de correlación, se encontró que la altura de planta se relaciona positivamente con el diámetro del tallo, área de la sección transversal del tronco, área foliar e índice de área foliar; esto debido a que el área foliar debido a los recursos suministrados por medio de la fotosíntesis permitieron a la planta aumentar el crecimiento de las plantas de cacao clon CCN51 y el diámetro del tronco, esto se evidencia en el tratamiento de sombreado y fertilizado en donde a medida que aumentó la altura de planta, aumentó el diámetro del tallo. Asimismo, en cuanto a las correlaciones negativas obtenidas está el pH entre altura de planta y diámetro del tallo, si una aumenta la otra disminuye, esto se logró determinar en el tratamiento de fertilización el cual en la figura 10 muestra los valores más ácidos para el pH del suelo, mientras que en la figura 3 el tratamiento de fertilización obtuvo los valores más altos de altura de planta.

6. CONCLUSIONES

- ✓ La aplicación de fertilizantes provocó un descenso del pH del suelo, como consecuencia del efecto acidificante de los fertilizantes, por otro lado, favoreció el aumento de conductividad eléctrica del suelo, debido a la mayor presencia de sales en la solución del suelo, a pesar de ello, es un valor normal para la producción del cacao.
- ✓ La fertilización en la etapa vegetativa del cacao clon CCN51 aumentó significativamente la altura de planta, longitud de los nuevos brotes, longitud de los metámeros, asimismo incrementó el número de estomas en la superficie foliar.
- ✓ El sombreado con 80% de intercepción solar en plantas de cacao CCN51 durante la etapa vegetativa favoreció el incremento del área foliar e índice de área foliar, sin embargo, disminuyó el número de estomas en la superficie foliar.
- ✓ Para todas las variables evaluadas no hubo un efecto significativo de la interacción sombra-fertilización, sin embargo, la concentración de clorofila en hojas alcanzó el mayor valor cuando se combinó la sombra y fertilización, así como, la sombra de forma independiente.

7. RECOMENDACIONES

- ✓ Evaluar el ciclo fenológico del cultivo de cacao, para contrastar los resultados de seguimiento y los días de duración de cada etapa del cultivo de cacao.
- ✓ Continuar con la investigación hasta llegar a la etapa reproductiva y a su vez evaluar variables de rendimiento y producción; y describir la manera mediante la cual influyen dos niveles de sombra y fertilización en el rendimiento de cacao clon CCN51.
- ✓ Realizar análisis de contenidos nutricionales en hojas de cacao clon CCN51 para determinar el grado de asimilación de nutrientes que contienen las hojas de cacao ante la aplicación de fertilizantes.
- ✓ Monitorear periódicamente el pH del suelo, debido a que los fertilizantes pueden acidificar el suelo, lo que implicaría problemas en la disponibilidad de nutrientes.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdulai I., Jassogne L., Graefe S., Asare R., Asten P., Läderach P., Vaast P. (2018). Characterization of cocoa production, income diversification and shade tree management along a climate gradient in Ghana. PLOS ONE, 13(4): 1-17.
- Acheampong, K.; Hadley, P. and Daymond, A. 2012. Photosynthetic activity and early growth of four cacao genotypes as influenced by different shade regimes under west african dry and wet season conditions. Expl Agric. 49 (1): 31–42.
- Amores F., Vasco A., Eskes A., Suarez C., Quiroz J., Loor R. (2011). On-farm and on-station selection of new cocoa varieties in Ecuador. In: Collaborative and participatory approaches to cocoa variety improvement final report of the CFC/ICCO/Biodiversity international project on "Cocoa productivity and quality improvement: a participatory approach" (2004-2010). Amsterdam: Bioversity International, ICCO. 254 pp.
- ANACAFÉ. 2004. Guía del cultivo de cacao. Programa de diversificación de ingresos en la empresa cacaotera. Editorial ANACAFÉ, Lima-Perú.
- ANECACAO. (2019). Sector exportador de cacao. Recuperado en: <http://www.anecacao.com/uploads/estadistica/cacao-ecuador-2019-4.pdf> (consultado el 20 de mayo de 2020)
- Arvelo M., González D., Maroto S., Delgado T., Montoya P. (2017). Manual técnico del cultivo de cacao: practicas latinoamericanas. Primera edición. San José, Costa Rica: IICA. 165p.
- Barrientos R. (2013). Improntas de hojas en negativo: un aporte metodológico al estudio arqueobotánico de poblaciones alfareras de la región centro-sur de Chile, Complejo Cultural Pitrén. Tesis Licenciada en Arqueología. Santiago, Chile: Carrera de Arqueología, Universidad Bolivariana. 166 pp.
- Beer J., Bonnemann A., Chavez W., Fassbender H., Imbach A., Martel I. (2009). Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao* L.) with laurel (*Cordia alliodora*) or poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. Agroforestry Systems, 12(1): 229-249.
- Boza E., Motamayor J., Amores F., Cedeño S., Tondo C., Livingstone D. (2014). Genetic characterization of the cacao cultivar CCN 51: Its impact and significance on global cacao

improvement and production. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2(139): 219-229.

Cadby, J. 2019. Variedad CCN51 ¿Una amenaza para la industria del cacao?. Disponible en: <https://perfectdailygrind.com/es/2019/07/19/variedad-ccn-51-una-amenaza-para-la-industria-del-cacao/>. Consultado el 23 de enero del 2021.

Carrión, J. 2012. Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad CCN-51, Jama- Manabí. Tesis de grado presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniero en Agroempresas – Universidad San Francisco de Quito.

Climate-Data. 2018. Zamora Chinchipe: Yantzatza El Padmi. Disponible en: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-zamora-chinchipe/yantzatza-2977/> (consultado el 20 de mayo de 2020).

Climate-data.org. (2018). Clima en Zamora Chinchipe. Recuperado en: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-pichincha/quito-1012/> (consultado el 20 de mayo de 2020).

Costa, L.C.B.; Almeida, A.A.F. & Valle, R.R. (2001). Gas exchange, nitrate assimilation and dry-matter accumulation of *Theobroma cacao* seedlings to different irradiances and assimilation nitrogen levels. J. Hort. Sci. Biotech. 762:224-230.

Daghela H.B., Fotio D., Didier Y., Vidal S. (2013). Shade Tree Diversity, Cocoa Pest Damage, Yield Compensating Inputs and Farmers' Net Returns in West Africa. Plos One, 8(3): 1-9.

De Almeida A., Valle R. (2010). Ecophysiology of the cacao tree. Braz. J. Plant Physiol, 19:425-448.

Dostert N., Roque J., Cano A., La Torre M., Weigend M. (2011). Hoja botánica: Cacao. Primera edición. Lima, Perú: Giacomotti Comunicación Gráfica S.A.C, pp. 19.

Enríquez, Gustavo. 2004. Tecnología del cacao, manejo de la plantación, Info Agro. Editorial DEWEY. San José, Costa Rica. 52 pp.

- FAO. (2018). Producción/Rendimiento de Cacao, en grano en el Mundo. Recuperado en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize> (consultado el 20 de mayo de 2020)
- Gómez J. (2017). Diseño de plan de producción de cacao CCN-51 sector Las Piedras - Los Ríos para exportar. Tesis Masterado. Guayaquil, Ecuador: Facultad de ciencias Administrativas, Universidad de Guayaquil. 73 pp.
- Gómez, A. 2002. Efecto de diferentes intensidades de luz sobre el intercambio gaseoso y desarrollo del Cacao Criollo Guasare. Tesis de Postgrado de Ecología Tropical, Facultad de Ciencias – Universidad de los Andes.
- Guamán, Consuelo. 2007. Estudio de factibilidad para el cultivo de “cacao 51” en la parroquia Cristóbal Colon de la ciudad de Santo Domingo de los Colorados y su comercialización. Ecuador. Escuela Politécnica Nacional.
- Herrera R. (2019). Dinámica nutricional en interacciones NPK relacionada a características morfológicas y fisiológicas en cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN 51. Tesis Ingeniero Agrónomo. Loja, Ecuador: Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja. 89 pp.
- Imas A. (2018). Caracterización morfológica del cacao (*Theobroma cacao* L.) en la cuenca del río Nangaritza provincia de Zamora Chinchipe. Tesis de Ingeniero en Administración y Producción Agropecuaria. Loja, Ecuador: Universidad Nacional de Loja. 155 pp.
- INIAP. (2019). La Cadena de Valor del Cacao en América Latina y El Caribe. Recuperado en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5382/1/Informe%20CACAO.pdf> (consultado el 20 de mayo de 2020)
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2012). Manual técnico del cultivo de cacao: prácticas latinoamericanas / Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 165 pp.
- Leiva, E. (2015). Aspectos para la nutrición del cacao *Theobroma cacao* L. Facultad Ciencias Agrarias.

- Lin B. (2010). The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(4): 510-518.
- Loor R., Fouet O., Lemainque A., Pavsek S., Boccara M., Argout X. (2012). Perspectiva sobre el Origen Salvaje, la Migración y la Domesticación, Historia del Sabor Fino Nacional *Theobroma cacao* L. Variedad de Ecuador. *PLoS ONE*, 7(11): 1-12.
- López O., Ramírez S., Espinosa S., Moreno J., Ruiz C., Villarreal J., Ruiz L. (2015). Manejo agroecológico de la nutrición en el cultivo del cacao. 1era edición. México: Universidad Autónoma de Chiapas. 128 pp.
- McKinney G. (1941). Absorption of light by chlorophyll solutions. *J. Biol. Chem.* 140:315–322.
- Mejía D., De la Cruz J., Vargas M., Del Ángel O. (2012). CACAO: Operaciones Poscosecha. Recuperado en: <http://www.fao.org/3/a-au995s.pdf> (consultado el 20 de mayo de 2020)
- Motamayor J., Risterucci A., Lopez P., Ortiz C., Moreno A., Lanaud C. (2002). Cacao domestication: The origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity*, 89: 380 - 386.
- Müller M. W. (2008). Photosynthetic characteristics during development of leaves from *Theobroma cacao* L. *Physiology Plant*. 853: 105-599.
- Nelson P., Webb M., Berthelsen S., Curry G., Yinil D., Fidelis C. (2011). Nutritional status of cocoa in Papua New Guinea. Recuperado en: <https://aci.gov.au/node/10291> (consultado el 20 de mayo de 2020)
- Paredes, N. 2007. Manual de cultivo de cacao para la amazonia ecuatoriana. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias Estación Experimental Central de la Amazonía DENAREF - Unidad de recursos filogenéticos. Ecuador.
- Pérez C., Martín N. (2009). Evaluación agroproductiva de cuatro sectores de la provincia de Pastaza en la Amazonía ecuatoriana. *SciELO*, 30(1): 5-10.
- Puentes Y., Menjivar J., Gómez A., Aranzazu F. (2014). Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento. *Acta agron*, 63(2): 145-152.


- Quintero C., Prats F., Zamero M., Arévalo E., Blas N., Boschetti G. (2011). Absorción de nitrógeno y rendimiento de arroz con diferentes formas de nitrógeno aplicado previo al riego. *Ciencia del Suelo*, 2(29): 233-239.
- Rapidel B., Allinne C., Cerdan C., Meylan L., Virginio E.D.M., Avelino J. (2015). *Sistemas Agroforestales: Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales*. Colombia, CATIE. 20 pp.
- Rodés R., Collazo M. (2006). *Manual de prácticas de Fotosíntesis*. 1era edición. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 149 pp.
- Rosas G., Puentes Y., Menjivar J. (2017). Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 3(18): 529-541.
- Sánchez L., Parra D., Gamboa E., Rincón J. (2005). Rendimiento de una plantación comercial de cacao ante diferentes dosis de fertilización con NPK en el sureste del estado Táchira, Venezuela. *Bioagro*, 17:119-122.
- Santana M., Cabala-Rosand P. (1982). Dynamics of nitrogen in a shaded cacao plantation. *Plant Soil*, 67: 271-281.
- Snoeck D., Koko L., Joffre J., Bastide P., Jagoret P. (2016). *Sustainable Agriculture Reviews*. Cirad, 19: 155-202.
- Van Vliet J., Slingerland M., Giller K. (2017). *Mineral Nutrition of Cocoa. A Review*. Wageningen: Wageningen University and Research Centre. Elsevier, 141: 185-270.
- Vázquez B., Cakmak D., Saljnikov E., Mrvic V., Jakovljevic M., Stajkovic O. y Bogdanovic, D. (2010). Optimization of macroelement contents in raspberry leaves by liming in an extremely acid soil. *Spanish Journal of Agricultural Research*, vol. 1, no. 9, pp. 329-337.
- Wartenber A., Blaser W., Janudianto K., Roshetko J., van Noordwijk M., Six J. (2018). Farmer perceptions of plant–soil interactions can affect adoption of sustainable management practices in cocoa agroforests: a case study from Southeast Sulawesi. *Ecology and Society*, 23(1): 1-14.

Wessel M. (1985). Shade and nutrition in cocoa. 1st Ed. Amsterdam, Koninklijk Instituut voor de Tropen. 104 pp.


9. ANEXOS

9.1. Análisis de suelo

RIM-0022. 29/01/20

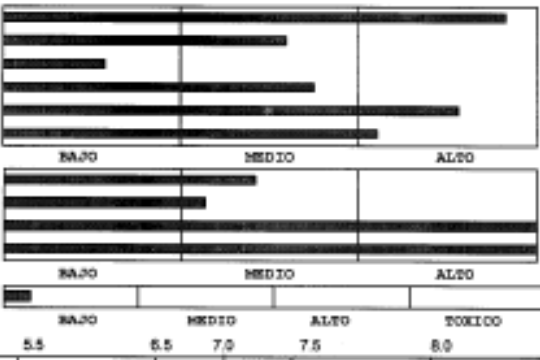


ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA"
LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS
 Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340
 Quito-Ecuador Telf: 690-691/92/93 Fax: 690-693





REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

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

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Nutriente</th> <th>Valor</th> <th>Unidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>N</td><td>73.00</td><td>ppm</td></tr> <tr><td>P</td><td>16.00</td><td>ppm</td></tr> <tr><td>S</td><td>5.80</td><td>ppm</td></tr> <tr><td>K</td><td>0.35</td><td>meq/100 ml</td></tr> <tr><td>Ca</td><td>12.40</td><td>meq/100 ml</td></tr> <tr><td>Mg</td><td>2.20</td><td>meq/100 ml</td></tr> <tr><td>Zn</td><td>4.10</td><td>ppm</td></tr> <tr><td>Cu</td><td>1.40</td><td>ppm</td></tr> <tr><td>Fe</td><td>254.00</td><td>ppm</td></tr> <tr><td>Mn</td><td>30.50</td><td>ppm</td></tr> <tr><td>B</td><td>0.10</td><td>ppm</td></tr> </tbody> </table>	Nutriente	Valor	Unidad	N	73.00	ppm	P	16.00	ppm	S	5.80	ppm	K	0.35	meq/100 ml	Ca	12.40	meq/100 ml	Mg	2.20	meq/100 ml	Zn	4.10	ppm	Cu	1.40	ppm	Fe	254.00	ppm	Mn	30.50	ppm	B	0.10	ppm	<p style="text-align: center;">INTERPRETACION</p> 
Nutriente	Valor	Unidad																																			
N	73.00	ppm																																			
P	16.00	ppm																																			
S	5.80	ppm																																			
K	0.35	meq/100 ml																																			
Ca	12.40	meq/100 ml																																			
Mg	2.20	meq/100 ml																																			
Zn	4.10	ppm																																			
Cu	1.40	ppm																																			
Fe	254.00	ppm																																			
Mn	30.50	ppm																																			
B	0.10	ppm																																			
<p>pH : 5.53</p> <p>Acidez Int. (Al+H) : meq/100 ml</p> <p>Al : meq/100 ml</p> <p>Na : meq/100 ml</p> <p>CE : mhos/cm</p> <p>MO : 11.40 %</p>	<p style="text-align: center;">0 5.5 6.5 7.0 7.5 8.0</p> <p style="text-align: center;">BAJO MEDIO ALTO TOXICO</p> <p style="text-align: center;">Lig. Acid. Frábil. Neutro Lig. Alc. Alcalino</p> <p style="text-align: center;">ADECUADO LIGERAMENTE TOXICO TOXICO</p> <p style="text-align: center;">No Salino Lig. Salino Salino Muy Salino</p> <p style="text-align: center;">BAJO MEDIO ALTO</p>																																				

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


 RESPONSABLE LABORATORIO


 LABORATORISTA



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



REPORTE DE ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

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

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

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


RESPONSABLE DEL LABORATORIO




LABORATORISTA

9.2. Requerimientos nutricionales del cacao

Tabla 8. Requerimientos nutricionales para el cultivo de cacao. Obtenido de Sánchez *et al.*, (2005).

Elemento	Requerimientos nutricionales					Corrección	
	N	P	K	Ca	Mg	S	B
kg/ha	136	14	156	113	47	42	4

9.3. Fertilizantes a utilizar en etapa vegetativa de cacao clon CCN51

a.) Requerimientos nutricionales del cacao en etapa vegetativa proyectado para las 18 plantas:

Elemento	Requerimiento (Kg/ha)	Requerimiento (kg/18 plantas)
Nitrógeno	136	3,43
Fósforo	14	0,35
Potasio	156	3,93
Magnesio	47	1,18
Calcio	113	2,84

b.) Cálculo de elementos en déficit:

Elemento	Dato del Análisis de suelo (ppm)	Valor óptimo (ppm)	Déficit (ppm)
Boro	5,80	≤ 10	4,20
Azufre	0,10	0,5	0,4

$$Dosis\ de\ corrección\ (DC) = \frac{Déficit + Profundidad + \delta a * 10}{Eficiencia}$$

- Boro:

$$DC = \frac{4,20ppm + 1,3m + 0,2 * 10}{0,26} = 42\ Kg/ha$$

- Azufre:

$$DC = \frac{0,4ppm + 1,3m + 0,2 * 10}{0,26} = 4\ Kg/ha$$

Para las 18 plantas lo que se debe aplicar:

- Boro: 0,10 Kg/18 plantas
- Azufre: 1,05 kg/18 plantas.

c.) Cálculo de los fertilizantes:

- **DAP (18-46-0):** Concentración de 18% de N y 46% de P.
- **Nitrato de Calcio:** Concentración de 26% de Ca y 15% de N.
- **Nitrato de Amonio:** Concentración de 33% de N.
- **Muriato de Potasio:** Concentración de 60% de K.
- **Sulfato de Magnesio:** Concentración de 16% de Mg y 13% de S.
- **Ácido Bórico:** Concentración de 17,5% de B.

Fertilizante	Kg/18 plantas	Kg/planta	Gramos / planta
18-46-0	0,76	0,042	42
Nitrato de Calcio	10,92	0,6	600
Nitrato de Amonio	5,45	0,3	300
Muriato de Potasio	6,55	0,36	360
Sulfato de Magnesio	8	0,44	440
Ácido Bórico	0,57	0,031	31

9.4. Imágenes que muestran el desarrollo de la presente investigación



Imagen 1. Equipo de investigación conformado por docentes y estudiantes de la Carrera de Ingeniería Agronómica



Imagen 2. Tesistas recibiendo instrucciones por parte docentes del proyecto



Imagen 3. Instalación de la malla sarán como parte de los tratamientos en el cultivo de cacao clon CCN51



Imagen 4. Aplicación de fertilizantes como parte de los tratamientos en el cultivo de cacao clon CCN51



Imagen 5. Recolección de muestras de suelo, para determinar el pH y CE.



Imagen 6. Evaluación de longitud de brotes.



Imagen 7. Recolección de 25 hojas de cacao clon CCN51 de todos los tamaños, para determinar una regresión que estime el área foliar.

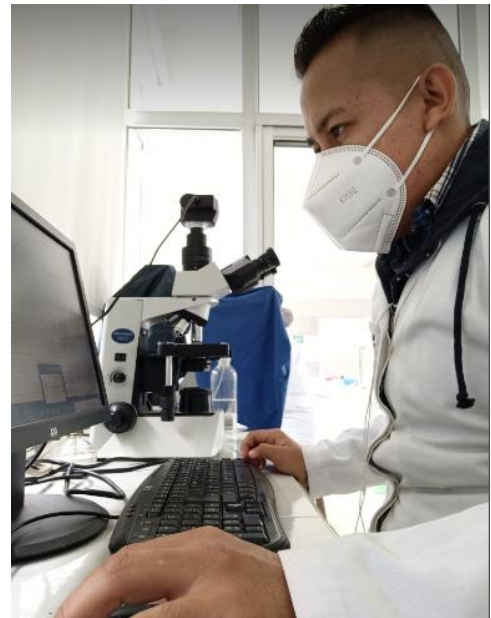


Imagen 8. Contabilización de estomas en hojas de cacao clon CCN51

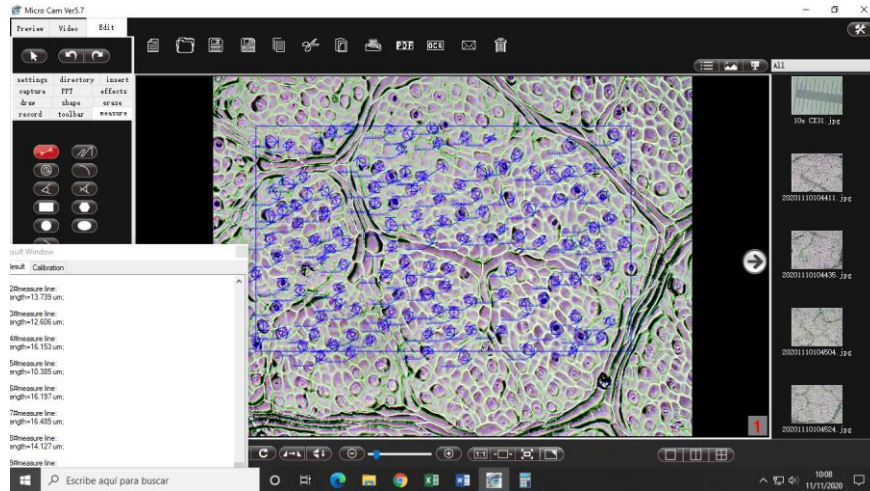


Imagen 9. Contabilidad de estomas, utilizando el software *MicroCam 5.7*.