



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Aplicación de tres niveles de fertilización y su influencia en las condiciones químicas del suelo y en el crecimiento vegetativo de cacao (*Theobroma cacao* L.) CLON CCN-51 en el Padmi, Zamora Chinchipe

Trabajo de Titulación previo a
la obtención del título de
Ingeniera Agrónoma

AUTORA:

Jhuliana Elizabeth Romero Ureña

DIRECTORA:

Dra. Miriam Irene Capa Morocho *PhD.*

Loja – Ecuador

2022

CERTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Loja, 17 de marzo de 2022

Ing. Mirian Irene Capa Morocho PhD.

DIRECTORA DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Certifico:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del trabajo de Titulación del grado titulado: “Aplicación de tres niveles de fertilización y su influencia en las condiciones químicas del suelo y en el crecimiento vegetativo de cacao (*Theobroma cacao* L.) CLON CCN-51 en el Padmi, Zamora Chinchipe” de autoría de la estudiante Jhuliana Elizabeth Romero Ureña, previa a la obtención del título de Ingeniera Agrónomo, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.



Ing. Mirian Irene Capa Morocho PhD.

DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTORÍA

Yo, Jhuliana Elizabeth Romero Ureña, declaro ser autora del presente trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi trabajo de titulación en el Repositorio Digital Institucional-Biblioteca Virtual.

Firma:  firmado electrónicamente por:
JHULIANA
ELIZABETH
ROMERO URENA

Cédula de identidad: 1900522663

Fecha: 26 de abril de 2022

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

Celular: 0997675609

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

Yo, Jhuliana Elizabeth Romero Ureña, declaro ser autora de la tesis titulada “Aplicación de tres niveles de fertilización y su influencia en las condiciones químicas del suelo y en el crecimiento vegetativo de cacao (*Theobroma cacao* L.) CLON CCN-51 en el Padmi, Zamora Chinchipe” como requisito para optar el título de Ingeniera 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 de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

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

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

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los veintiséis días del mes de abril del dos mil veintidós.

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**JHULIANA
ELIZABETH
ROMERO UREÑA**

Autor: Jhuliana Elizabeth Romero Ureña

Cédula: 1900522663

Dirección: Barrio Piuntza, Av. Amazonas y Calle Bolívar. Zamora - Ecuador

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

Celular: 0997675609

DATOS COMPLEMENTARIOS

Directora del trabajo de titulación: Ing. Mirian Irene Capa Morocho PhD.

Tribunal de Grado:

Mg. Sc. Paulina Vanesa Fernández Guarnizo

Presidenta

PhD. Santiago Cristóbal Vásquez Matute

Vocal

PhD. Klever Iván Granda Mora

Vocal

DEDICATORIA

*A mis padres y familia
por su esfuerzo y apoyo incondicional
durante el transcurso de la carrera
hasta verme realizada como profesional.*

Jhuliana Elizabeth Romero Ureña

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la Virgen.

A mis padres, Marco y Norma quienes me han apoyado para poder llegar a esta instancia de mis estudios.

A mis hermanos y hermanas; Bladimir, Ramiro, Gissela y Fernanda.

A mis sobrinos y sobrinas.

A mis abuelos paternos y maternos.

A mi directora de tesis Dra. Mirian Capa por guiarme con cada inquietud presentada durante el desarrollo de la investigación.

A mis amigos y amigas.

A una persona muy especial para mí, por brindarme su apoyo durante el transcurso de mi carrera.

Jhuliana Elizabeth Romero Ureña

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
AUTORÍA	iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
1. TÍTULO	1
2. RESUMEN	2
2.1. ABSTRACT	3
3. INTRODUCCIÓN	4
Objetivo general	5
Objetivos específicos	5
4. MARCO TEÓRICO	6
4.1 Generalidades e importancia del cacao	6
4.2 Origen del cacao	7
4.3 Cacao clon CCN-51	7
4.4 Morfología y fisiología del cacao	7
4.4.1 La raíz	7
4.4.2 El tallo	8
4.4.3 Las hojas	8
4.4.4 Flores e inflorescencias	8
4.4.5 Fruto y semilla	9
4.5 Ciclo fenológico del cacao	9
4.5.1 Etapa de semillero	9
4.5.2 Periodo de formación del árbol	9
4.5.3 Periodo Juvenil	10
4.5.4 Periodo de plena producción	10
4.5.5 Vejez	10
4.6 Condiciones edafoclimáticas del cacao	10
4.6.1 Suelo	10

4.6.2	Temperatura	11
4.6.3	Precipitación	11
4.6.4	Humedad relativa	11
4.6.5	Altitud.....	11
4.6.6	Vientos	11
4.7	Nutrición del cacao.....	12
4.7.1	Macronutrientes	12
4.7.2	Micronutrientes	16
5.	METODOLOGÍA	19
5.1	Área de estudio	19
5.2	Material vegetal	19
5.3	Análisis de suelo.....	20
5.4	Manejo del experimento	20
5.5	Diseño experimental.....	20
5.5.1	Modelo matemático del diseño experimental.....	21
5.5.2	Esquema del diseño experimental	21
5.6	Variables evaluadas.....	22
5.6.1	pH.....	22
5.6.2	Conductividad eléctrica	22
5.6.3	Altura de la planta.....	22
5.6.4	Longitud del brote	22
5.6.5	Longitud y número de metámeros	23
5.6.6	Área de sección transversal del tronco (ASTT)	23
5.6.7	Diámetro de copa.....	23
5.6.8	Área Foliar (AF) e índice de área foliar (IAF).....	23
5.6.9	Concentración de clorofila.....	23
5.6.10	Densidad estomática.....	24
5.6.11	Estructura anatómica de las hojas	24
5.6.12	Fenología	25
5.7	Análisis estadístico.....	25
6.	RESULTADOS	25
6.1	Parámetros químicos del suelo	25
6.1.1	pH.....	25
6.1.2	Conductividad eléctrica (CE).....	26
6.2	Crecimiento vegetativo.....	27
6.2.1	Parámetros morfológicos	27

6.2.2 Parámetros fisiológicos	30
6.3 Correlaciones	34
7. DISCUSIONES.....	35
8. CONCLUSIONES.....	39
9. RECOMENDACIONES	40
10. BIBLIOGRAFÍA.....	41
11. ANEXOS	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio (Estación Experimental El Padmi - UNL).....	19
Figura 2. Esquema del diseño experimental en el cultivo de cacao CCN 51, en la estación experimental El Padmi.	21
Figura 3. pH del suelo bajo tres niveles de fertilización en el cultivo de cacao CCN-51. Letras iguales entre puntos de un mismo DDT no representan diferencias significativas, según test de Tukey al 95%. Cada punto es el promedio de cuatro repeticiones. Barras en cada punto representa el error estándar.	26
Figura 4. Conductividad eléctrica del suelo bajo tres niveles de fertilización en el cultivo de cacao CCN-51. Letras iguales entre puntos de un mismo DDT no representan diferencias significativas, según test de Tukey al 95 %. Cada punto es el promedio de cuatro repeticiones. Barras en cada punto representa el error estándar.....	26
Figura 5. Altura (A) e incremento de altura cm/día (B) de las plantas de cacao clon CCN-51 bajo tres niveles de fertilización. Cada punto es el promedio de cuatro repeticiones. Barras en cada punto representa el error estándar.....	27
Figura 6. Longitud del brote (A) e incremento de la longitud del brote cm/día (B) bajo tres niveles de fertilización en el cultivo de cacao CCN-51. Cada punto es el promedio de cuatro repeticiones. Barras en cada punto representa el error estándar.	28
Figura 7. Área de sección transversal del tronco de plantas de cacao CCN-51 bajo tres niveles de fertilización: A) porta injerto, y, B) bareta.	29
Figura 8. Diámetro de copa influenciada por tres niveles de fertilización en el cultivo de cacao CCN-51. Cada punto es el promedio de cuatro repeticiones. Barras en cada punto representa el error estándar.....	29
Figura 9. Área foliar bajo tres niveles de fertilización en el cultivo de cacao CCN-51.	30
Figura 10. Índice de área foliar bajo tres niveles de fertilización en el cultivo de cacao CCN-51.	30
Figura 11. Concentración de clorofila bajo tres niveles de fertilización en el cultivo de cacao CCN-51. Letras iguales entre barras del mismo color no representan diferencias significativas, según test de Tukey al 95%.	31
Figura 12. Densidad estomática bajo tres niveles de fertilización en el cultivo de cacao CCN-51.	31
Figura 13. Estomas en el envés de la hoja de cacao CCN-51 obtenidas con el microscopio Olympus CX31 objetivo 10X. A. Impronta de tratamiento de 0 % de fertilización (T1); B. Impronta de tratamiento de 100 % de fertilización (T2); C. Impronta de tratamiento de 200 % de fertilización (T3).	32
Figura 14. Ancho de lámina foliar bajo tres niveles de fertilización en el cultivo de cacao CCN-51. Letras iguales entre barras del mismo color no representan diferencias significativas, según test de Tukey al 95%.....	32
Figura 15. Ancho de la lámina foliar bajo tres tratamientos de fertilización en el cacao CCN-51 obtenidas con el microscopio Olympus CX31 objetivo 10X.A. Corte transversal de tratamiento de 0 % (T1); B. Corte transversal de tratamiento de 100 % (T2); C. Corte transversal de tratamiento de 200 % (T3).	33
Figura 16. Fenología del cultivo de cacao CCN-51, influenciado por tres niveles de fertilización.....	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de tratamientos del cultivo de cacao CCN 51.	21
Tabla 2. Longitud y número de metámeros de brotes de cacao clon CCN-51 bajo tres niveles de fertilización.....	28
Tabla 3. Fenología del cultivo de cacao CCN-51 bajo tres niveles de fertilización.....	33
Tabla 4. Correlaciones entre variables morfológicas y fisiológicas.	34
Tabla 5. Requerimientos nutricionales del cultivo de cacao CCN-51, basados en el análisis de suelo.	51
Tabla 6. Dosis de aplicación por tratamientos en el cultivo de cacao CCN-51.....	52

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisi de Suelo	50
Anexo 2. Cálculos de dosis de fertilizantes.....	52
Anexo 3. Escala BBCH para cacao.....	54
Anexo 4. Ecuaciones ajustadas para calcular área foliar de cacao CCN-51	57
Anexo 5. Certificación de traducción del Abstract.....	58
Anexo 6. Fotografías del experimento en campo.....	59

Aplicación de tres niveles de fertilización y su influencia en las condiciones químicas del suelo y en el crecimiento vegetativo de cacao (*Theobroma cacao* L.) CLON CCN-51 en el Padmi, Zamora Chinchipe

2. RESUMEN

Ecuador es uno de los mayores productores de cacao, sin embargo, el rendimiento es bajo en comparación con otros países de Latinoamérica, siendo un reto y una necesidad mejorar su producción mediante la aplicación eficiente de los requerimientos nutricionales secuenciales del cultivo durante su desarrollo. El objetivo de la presente investigación fue analizar la respuesta de diferentes niveles de fertilización sobre las condiciones químicas del suelo y el crecimiento vegetativo de cacao clon CCN-51. El estudio se llevó a cabo en la Estación Experimental “El Padmi” de la Universidad Nacional de Loja, utilizando plantas de 20 meses de edad, con una densidad de plantación de 3,5 m x 4 m, bajo un diseño completamente al azar, con tres tratamientos de fertilización (0, 100 y 200 % de las necesidades requeridas por el cultivo) y cuatro repeticiones. Las variables morfológicas altura y longitud de brote se midieron cada 20 días, área de sección transversal del tronco (ASTT) se evaluó al inicio y final del experimento, longitud y número de metámeros, diámetro de copa, área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF) se evaluaron al final del ensayo, mientras que variables fisiológicas como concentración de clorofila, densidad estomática y estructura de la hoja, se midieron al final del ensayo en campo. El pH y conductividad eléctrica (CE) del suelo se midieron cada 20 días; al igual que la fenología del cultivo. Los resultados sugieren que la aplicación del 200 % de fertilización disminuye el pH y acumula sales en el suelo que elevan la CE, así mismo, la concentración de clorofila alcanzó los niveles más altos en el tratamiento de 100 % de fertilización, no obstante, el grosor de la lámina foliar presentó los valores más altos en el tratamiento testigo. Las otras variables no manifiestan diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. Estos resultados muestran que la fertilización bajo las condiciones de este experimento no afecta de forma directa a variables morfológicas de la planta, sin embargo, disminuye el pH del suelo y eleva la CE, provocando acidificación, lo que podría dificultar la absorción de ciertos elementos, además, aporta nutrientes necesarios para el inicio de la fase reproductiva y acortamiento de la fase vegetativa.

Palabras clave: *Theobroma cacao* L, crecimiento, desarrollo, nutrición, fertilización.

2.1. ABSTRACT

Ecuador is one of the largest producers of cocoa, however, the yield is low compared to other Latin American countries, being a challenge and a necessity to improve its production through the efficient application of sequential nutritional requirements of the crop during its development. The objective of this research was to analyze the response of different fertilization levels on soil chemical conditions and vegetative growth of cocoa clone CCN-51. The study was carried out at the Experimental Station "El Padmi" of the National University of Loja, using 20-month-old plants, with a planting density of 3.5 m x 4 m, under a completely randomized design, with three fertilization treatments (0, 100 and 200 % of the needs required by the crop) and four replications. The morphological variables shoot height and length were measured every 20 days, trunk cross-sectional area (ASTT) was evaluated at the beginning and end of the experiment, length and number of metameres, crown diameter, leaf area (FA) and leaf area index (LAI) were evaluated at the end of the trial, while physiological variables such as chlorophyll concentration, stomatal density and leaf structure were measured at the end of the field trial. Soil pH and electrical conductivity (EC) were measured every 20 days, as well as crop phenology. The results suggest that the application of 200% fertilization decreases pH and accumulates salts in the soil, which increases EC; likewise, chlorophyll concentration reached the highest levels in the 100% fertilization treatment; however, leaf lamina thickness presented the highest values in the control treatment. The other variables did not show significant statistical differences between treatments. These results show that fertilization under the conditions of this experiment does not directly affect morphological variables of the plant; however, it decreases soil pH and raises EC, causing acidification, which could hinder the absorption of certain elements, and also provides nutrients necessary for the onset of the reproductive phase and shortening of the vegetative phase.

Key words: *Theobroma cacao* L, growth, development, nutrition, fertilization.

3. INTRODUCCIÓN

El cacao es un producto significativo para el Ecuador, ya que su producción conlleva una gran cadena comercial desde la compra de insumos para su establecimiento hasta la exportación al mercado internacional, esta cadena de valor ha significado importantes divisas al país desde la década de los 80's, siendo en la actualidad el quinto producto más importante dentro de las exportaciones no petroleras (López, 2017).

El cacao ecuatoriano, es considerado como uno de los mejores del mundo al ser reconocido como un cacao de tipo fino, con aromas frutales y florales; no obstante, de la superficie total de cacao en el Ecuador, el 53 % corresponde a CCN-51 y 43 % a cacao Nacional, este último caracterizado por su sabor y aromas florales. Nuestro país es uno de los mayores productores de cacao, alcanzando las 260 t que significan un 52 % de la oferta mundial. Sin embargo, el rendimiento de la producción no ha tenido el mismo comportamiento (Alvarado *et al.*, 2017; Sánchez *et al.*, 2019).

La reducción del rendimiento de cacao en nuestro país está ligada a la sensibilidad del cultivo a factores eco fisiológicos , entre estos tenemos las condiciones edáficas del cultivo que afectan a la nutrición de la planta; en Ecuador existe gran variabilidad de suelos y, por tanto, diferencias en la composición química y física en cada uno de ellos, siendo necesario cumplir con los requerimientos nutricionales secuenciales del cultivo durante el desarrollo y mejorar la producción del mismo en beneficio del agricultor (Suárez *et al.*, 1864, Sánchez *et al.*, 2019).

Los principales macro y micronutrientes que requiere el cultivo de cacao son: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg), calcio (Ca), azufre (S), boro (B), cobre (Cu) y zinc (Zn); la falta de uno de ellos conlleva deficiencias morfológicas y fisiológicas en la planta (UNICA, 2011, Arvelo *et al.*, 2017). En el caso del cacao CCN-51, estudios realizados en la costa ecuatoriana muestran que este clon es más eficiente que otros clones, pues con bajas dosis de fertilización produce mejores rendimientos (Recalde *et al.*, 2012, Puentes *et al.*, 2014); en contra posición a estudios realizados por Puentes *et al.*, en el 2016, donde los valores más altos de rendimiento fueron obtenidos con dosis que superan los requerimientos basados en análisis de suelos previos, estos mismos resultados fueron reportados por Cuenca *et al.*, 2019.

En base a lo anterior, la existencia de vacíos de conocimientos, tanto en el manejo agronómico, en los que destaca la nutrición; provoca deficiencia en el crecimiento y producción del cultivo, así mismo, no existen los suficientes estudios que demuestren la eficiencia del uso de nutrientes en la provincia de Zamora Chinchipe, siendo esta una región con un amplio potencial de

producción del cultivo de cacao; por lo tanto, se requiere conocer el manejo nutricional adecuado en prácticas de fertilización, ya que son realizadas mediante la incorporación de fuentes minerales, en dosis y etapas adecuadas, según lo demande el cultivo, y para mejorar su aprovechamiento debe ser acompañado con recurso hídrico, de tal manera, que manejar la nutrición incluya la gestión integral de todos los recursos productivos.

La falta de información oportuna ha creado la necesidad del levantamiento de información en la zona sur de la región amazónica, esto con la finalidad de responder interrogantes sobre cuál es el efecto de la aplicación de diferentes niveles de fertilización y su impacto sobre la morfología y fisiología de la planta. Por tanto, el presente trabajo buscó analizar la respuesta a diferentes niveles de fertilización sobre condiciones del suelo y el crecimiento vegetativo del cacao.

La importancia de buscar una solución a este problema, se apoya en el argumento de que este proyecto generará información teórica y práctica que ayudará a los productores del sector y nacionales a que obtengan mejores rendimientos de cacao mediante un óptimo manejo de fertilizantes, además generará conocimientos a la comunidad científica, ya que los datos recolectados podrán ser empleados en otras investigaciones en la misma zona, de este u otros cultivos.

En consecuencia, para analizar la influencia de los diferentes niveles de nutrición sobre el desarrollo vegetativo del cacao clon CCN-51 se propusieron los siguientes objetivos:

Objetivo general

Analizar la respuesta de diferentes niveles de fertilización sobre las condiciones químicas del suelo y el crecimiento vegetativo de cacao clon CCN-51 en la provincia de Zamora Chinchipe sector “El Padmi”.

Objetivos específicos

- Evaluar los efectos de diferentes niveles de fertilización en los parámetros químicos del suelo en el cultivo de cacao CCN-51.
- Describir el crecimiento vegetativo del clon CCN-51 con la aplicación de diferentes niveles de fertilización.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Generalidades e importancia del cacao

El cacao se cultiva en regiones cálidas y húmedas en más de 50 países ubicados en 4 continentes (África, América, Asia y Oceanía); 23 de esos países son de América y en ellos se produce cacao con fines comerciales, por lo tanto, es un cultivo de gran importancia económica, social, ambiental y, particularmente, cultural para los territorios en donde se produce (Arvelo *et al.*, 2017).

La actividad cacaotera tiene impacto importante en los principales países productores, ya que representa el modo de vida de más de 150 000 agricultores y genera alrededor de 1 500 000 empleos directos en las etapas de producción, procesamiento y comercialización. La producción de cacao en América abarca una superficie superior a 1 700 000 ha y genera flujos comerciales superiores a los 900 millones de dólares de exportaciones anuales (Arvelo *et al.*, 2017).

El cacao es uno de los cultivos más importantes del sector agrícola del Ecuador, representa el 20 % de la superficie total agrícola sembrada en el año 2016. En el año 2017 tuvo una participación del 9 % del valor de las exportaciones agrícolas, aportando de manera positiva a la balanza comercial agrícola (MAG, 2018).

En el año 2017 el rendimiento nacional ponderado fue de 0,52 t/ha; así, al cacao Nacional (fino de aroma) obtuvo un rendimiento ponderado de 0,33 t/ha y el cacao CCN-51 obtuvo un rendimiento ponderado de 0,65 t/ha (MAG, 2018).

Según Ruales *et al.*, (2011), el rendimiento de cacao CCN – 51 superó los 2 200 kg/ha al año. Los altos rendimientos de este clon pueden atribuirse a que es un material autocompatible lo cual incrementa el porcentaje de polinización.

En la provincia de Zamora Chinchipe la edad promedio de los productores de cacao CCN- 51, es 54 años, cuenta con 9 años de escolaridad en promedio, es la segunda generación de productores de cacao y la producción de este cultivo es la principal fuente de ingreso. En promedio el 49 % tuvo acceso a capacitación en temas de manejo del cultivo y solo el 13 % está vinculado a una asociación. La edad promedio de los productores de cacao Nacional (fino de aroma) es de 54 años, cuenta con 8 años de promedio de educación, es de la primera generación de productores de cacao y la producción de este cultivo no es la principal fuente de ingreso, en promedio el 89 % tuvo acceso a capacitación en temas de manejo del cultivo y el 30 % está vinculado a una asociación (MAG, 2018).

4.2 Origen del cacao

El cacao es un árbol originario de las selvas de América Central y del Sur, cuyo nombre científico es *Theobroma cacao* L. (*Theobroma* en griego significa “comida de los dioses”). Según estudios de su material genético *Theobroma cacao*, es nativa de América del Sur, de la cuenca del río Orinoco y del río Amazonas (Rodríguez *et al.*, 2016).

4.3 Cacao clon CCN-51

El CCN-51 es un genotipo de origen ecuatoriano que el 22 de junio del 2005 fue declarado mediante acuerdo ministerial, un bien de alta productividad. Con esta declaratoria, el Ministerio de Agricultura brinda apoyo para fomentar la producción de este cacao, así como su comercialización y exportación. En 1965 luego de varias investigaciones, el agrónomo ambateño Homero Castro Zurita, logró en 1965 el denominado cacao clonal CCN-51 que significa Colección Castro Naranjal. Castro investigó desde 1952 las diversas variedades del grano y finalmente obtuvo la del tipo 51, que es tolerante a las enfermedades, de alta productividad y calidad (ANECACAO, 2015).

4.4 Morfología y fisiología del cacao

El cacao es un árbol leñoso, fuerte, de porte relativamente bajo, originario del sotobosque, pertenece al orden malvales, familia, Malvaceae, género, especie, *Theobroma* (*Theobroma cacao* L) cuya denominación científica fue dada por el eminente botánico Lineo, quien le llamó (*Theobroma cacao* L). A continuación, se describen las principales características morfológicas, de la especie (Pinzón *et al.*, 2012).

4.4.1 La raíz

Posee dos tipos de raíces: una principal pivotante y unas raíces secundarias, de donde se desprenden los pelos absorbentes (Pinzón *et al.*, 2012).

La raíz principal es la encargada de perforar el suelo, darle un buen anclaje y sostenimiento a la planta (Pinzón *et al.*, 2012).

Cuando el suelo tiene buena profundidad, la raíz principal puede penetrar hasta 2 m. Cuando el suelo no es muy profundo, la raíz principal no penetra con facilidad y la planta puede sufrir problemas de volcamiento y mal desarrollo (Pinzón *et al.*, 2012).

Las raíces secundarias se encuentran en los primeros 30 cm del suelo y son encargadas de tomar los nutrientes y el agua que la planta necesita para su normal desarrollo, a través de los pelos absorbentes constituidos por abundante cantidad de pequeñas raíces que se distribuyen por la superficie del suelo. Las raíces expuestas superficialmente, corren el riesgo de que fácilmente sean dañadas cuando se ejecutan labores de deshierba con remoción de suelo o se efectúen aporques inconvenientes (Pinzón *et al.*, 2012).

4.4.2 El tallo

El tallo es glabro o parcialmente pubescente en ejes jóvenes. La corteza es oscura, gris-café. Las ramas son cafés y finamente vellosas (Dostert *et al.*, 2011).

Cuando la planta se origina a partir de una semilla sexual, el tronco o tallo principal se desarrolla verticalmente hasta una altura de 0,80 a 1,50 m en forma normal. Luego, se abre dando origen a 3, 4 o 5 ramas, distribuidas al mismo nivel formando la mesa, molinillo o verticilo. Las primeras ramas que se desprenden del tronco principal se llaman primarias de las cuales se derivan otras llamadas secundarias y de éstas las terciarias. Las ramas primarias y secundarias forman la copa del árbol (Pinzón *et al.*, 2012).

4.4.3 Las hojas

Las hojas de cacao son grandes, coriáceas, alternas, dísticas con ramas normales, verdes, pecíolo pubescente o tomentoso, pelos de difusión simples y densos, engrosados y pulvinados en los extremos; láminas de 12 a 60 cm de largo, 4 a 20 cm de ancho de elípticas a obovadas u oblongas, enteras, y glabras (poco pelo) (De la Cruz *et al.*, 2017).

La hoja está unida a la rama por un tallito llamado peciolo. Entre el peciolo y la rama se encuentra un abultamiento pequeño llamado yema axilar. La función principal de la hoja es elaborar los alimentos que la planta necesita para su normal desarrollo y la formación de mazorcas, a través de la fotosíntesis. Para que este proceso se realice en forma normal se necesita la luz solar (Pinzón *et al.*, 2012).

4.4.4 Flores e inflorescencias

Las flores del cacao se encuentran distribuidas a lo largo del tronco y de las ramas, agrupadas en sitios llamados cojines florales. La flor del cacao es caulinar, es decir; se produce en el tronco, ramas y tallos leñosos. Es hermafrodita; posee ambos sexos: masculino y femenino. El órgano masculino está formado por estambres. Una flor posee 5 estambres verdaderos de color

blanco y 5 falsos de color morado. En la cabeza de los estambres blancos se encuentra el polen. El órgano femenino es el pistilo formado por el estigma, el estilo y el ovario. La función de las flores es la reproducción. El grano de polen cae sobre el estigma y baja por el Estilo hasta el Ovario, cuando esto sucede, se realiza el fenómeno llamado fecundación y empieza la formación del fruto llamado pepino, cuando está pequeño, y mazorca, cuando crece (Pinzón *et al.*, 2012). Inflorescencia dicasiales (Inflorescencia cimosa que, terminando en una flor, se originan dos flores laterales por debajo); pedúnculo primario muy corto, grueso y lignificado (De la Cruz *et al.*, 2017).

4.4.5 Fruto y semilla

La mazorca, o fruto de cacao, es una baya protegida en su parte externa por una cáscara o pericarpio (Pinzón *et al.*, 2012).

El fruto es variable en forma, ovoidal, alargada, a veces puntiaguda y estrecha en la base o casi esférica, con 10 surcos de los cuales 5 son prominentes. Presenta placentación axial, semillas incrustadas en mucílago, plana o redonda con los cotiledones de color blanco o morado (De la Cruz *et al.*, 2017).

4.5 Ciclo fenológico del cacao

Desde que la plántula comienza a desarrollarse hasta cuando el árbol llega a la vejez, el cacao pasa por varias fases o etapas; en todas estas etapas las variaciones climáticas estacionales afectan generalmente a la planta, ocasionando un ritmo desigual de crecimiento o de brotaciones que influyen especialmente en la distribución de las floraciones y las cosechas (Barros, 1981).

Tales periodos o etapas son sucesivamente los siguientes:

4.5.1 Etapa de semillero

Durante su permanencia en el semillero, el cacao conserva su tallo joven sin ramificarse, lignificándose ligeramente en sus tercios inferiores. Este periodo se cumple en tres o cuatro meses, cuando el arbolito está listo para ser trasplantado al campo (Barros, 1981).

4.5.2 Periodo de formación del árbol

El arbolito trasplantado al sitio definitivo continúa creciendo sin interrupción y al año o antes, según la precocidad, se ramifica lateralmente para formar la armazón definitiva.

A los 18 meses aparecen ramificaciones secundarias y las primeras flores en el tronco. Estas no suelen ser fecundadas y por esta razón caen antes de marchitarse; aun en el caso que sean fecundadas, los frutos se desprenden en las primeras semanas (Barros, 1981).

4.5.3 Periodo Juvenil

El crecimiento continúa y se forma un árbol de características adultas, a la vez que las cosechas van aumentando hasta alcanzar la plena producción; ésta ocurre a los siete años en los híbridos y entre los 10 a los 12 en las formas naturales (Barros, 1981).

4.5.4 Periodo de plena producción

Este periodo es muy variable, pero se puede considerar como duración media normal hasta los 35 o los 40 años. La vida económica del árbol se puede prolongar hasta los 60 años o más, cuando los suelos y climas son ideales y el cultivo se encuentra en buenas condiciones fisiológicas y fitosanitarias (Barros, 1981).

4.5.5 Vejez

La vejez del cacao se manifiesta por agotamiento fisiológico del árbol, debido a causas internas o extremas. En esta fase se observa una menor intensidad de las brotaciones, color más pálido de las hojas y, sobre todo, un descenso gradual de la producción que no se restituye ni aun con fuertes aplicaciones de fertilizantes; esto hace necesario el reemplazo o replante de las plantaciones comerciales (Barros, 1981).

4.6 Condiciones edafoclimáticas del cacao

4.6.1 Suelo

Requiere suelos profundos, con textura intermedia (francos), buena retención de agua, estructura granular, drenaje moderado, buena fertilidad y un porcentaje de materia orgánica de al menos 3 %. Con un pH entre 6 -7. Aunque tolera suelos con una profundidad de 0,60 m, lo mejor es seleccionar suelos con una profundidad de entre 0,8 y 1,5 m (Arvelo *et al.*, 2017). Así mismo, Quiroz y Mestanza (2012) menciona que los suelos recomendados para cultivar cacao deben ser planos o ligeramente inclinados, también suavemente ondulados, los tres tipos de topografía deben ser fértiles y con muy poca erosión. De buena fertilidad, francos y profundos para facilitar el desarrollo de las raíces, así la raíz principal puede penetrar de 80 a 150 cm.

Contenidos altos de materia orgánica. Se recomienda suelos con pH entre 6.0 y 7.0, estos valores son los mejores para el cultivo.

4.6.2 Temperatura

La mejor temperatura media anual para el cultivo del cacao se ubica en 25 °C con un rango de temperaturas media mensual entre 24 °C y 26 °C, que es considerado óptimo para la producción. Zonas con temperaturas medias mensuales superiores a 31 °C e inferiores a 20 °C no se consideran aptas para la producción comercial del cacao (Arvelo *et al.*, 2017).

4.6.3 Precipitación

La producción cacaotera se encuentra en zonas con precipitaciones anuales entre 1250 y 3000 mm, el rango para su mejor desempeño comercial es el comprendido entre 1500 y 2000 mm (Arvelo *et al.*, 2017).

4.6.4 Humedad relativa

El ambiente ideal para el cacao es aquel en donde la humedad relativa predominantemente es alta; un promedio de 70 a 80 % de humedad relativa es el más adecuado. Sin suficiente agua en el suelo las plantas se benefician de una alta humedad relativa en la atmósfera, circunstancia que restringe la transpiración foliar excesiva. Los niveles de humedad relativa superiores al 70 % favorecen el establecimiento del cacao después del trasplante, y una media de 75 a 80 % parece ser la humedad relativa más conveniente para el cultivo. Pero valores superiores al 85 %, combinados con abundante precipitación y altas temperaturas, estimulan la presencia de enfermedades fungosas como la escoba de bruja y la moniliasis, que causan grandes pérdidas en las cosechas (López *et al.*, 2015).

4.6.5 Altitud

El cacao se cultiva desde el nivel del mar hasta los 800 msnm; sin embargo, en plantaciones cerca de la línea del ecuador se desarrolla de manera normal en altitudes mayores: desde los 1000 hasta los 1400 msnm (Arvelo *et al.*, 2017).

4.6.6 Vientos

La literatura refiere que los vientos que presentan una velocidad mayor a los >4 m/s son perjudiciales, ya que aumentan la desecación de las hojas, e impiden la polinización. Sin embargo, este efecto es mínimo ya que una vez que el cultivo cierra, el efecto de barrera de los

mismos árboles de cacao y de los sombríos hace que la influencia del viento prácticamente solo se presente en los bordes de los lotes (Rojas y Sacristán, 2013).

4.7 Nutrición del cacao

La fertilización es una práctica tan importante o más en cacao que en algunos otros cultivos, especialmente cuando se conoce que muchos cacaotales son establecidos en suelos de condiciones físicas aceptables, pero con limitaciones químicas en uno o varios elementos. El cacao, aunque es una planta rústica requiere de por lo menos 12 nutrientes, para ser altamente productivo de los cuales los más importantes son nitrógeno, potasio y fósforo (Johnson *et al.*, 2008).

Los rangos de requerimientos de nutrientes del cultivo de cacao para producir una cosecha de 1000 kg de semillas secas son de 64,8 a 103 kg; 31 a 40 kg y 11,5 a 13,75 kg de K_2O , N y P_2O_5 , respectivamente; mientras que se requieren de 7 a 11,2 kg de CaO y de 8,3 a 11,6 kg de MgO (Beriguete, 2017).

La cantidad de nutrimentos removidos por un cultivo dependerá del estado nutricional de la plantación. La remoción de nutrimentos de una producción de 1000 kg de cacao, en promedio es de: 40 kg de potasio (K) como (K_2O), 30 kg de nitrógeno (N), 13 kg de calcio (Ca) como (CaO), 10 kg de magnesio (Mg) como (MgO) y 8 kg de fósforo (P) como (P_2O_5) (Beriguete, 2015).

El nivel de luz que llega a las hojas del cultivo del cacao tiene un alto efecto en la producción y en la demanda de fertilizantes. Con un bajo nivel de luz y cobertura abundante de sombra, el rendimiento del cultivo disminuye. Con un alto nivel de luz, con poca o ninguna sombra, los rendimientos son mucho más altos. En este último caso existe una respuesta substancial en rendimiento a la aplicación de fertilizantes (CPBA, 2012).

4.7.1 Macronutrientes

Según IFA (1992), los macronutrientes se necesitan en grandes cantidades, y grandes cantidades tienen que ser aplicadas si el suelo es deficiente en uno o más de ellos. Los suelos pueden ser naturalmente pobres en nutrientes, o pueden llegar a ser deficientes debido a la extracción de los nutrientes por los cultivos a lo largo de los años, o cuando se utilizan variedades de rendimientos altos, las cuales son más demandantes en nutrientes que las variedades locales.

Es importante mantener una fertilidad inicial adecuada del suelo, ya que, la remoción de nutrientes por el cultivo de cacao se incrementa rápidamente durante los primeros 5 años después de la siembra y luego establecerse manteniendo esa tasa de absorción por el resto de vida útil de la plantación. En general, el potasio (K) es el nutriente más absorbido por el cacao, seguido por el nitrógeno (N), calcio (Ca) y magnesio (Mg) (CPBA, 2012).

4.7.1.1 Nitrógeno: Comportamiento y deficiencias

El Nitrógeno (N) es el motor del crecimiento de la planta. Suple de uno a cuatro por ciento del extracto seco de la planta. Es absorbido del suelo bajo forma de nitrato (NO_3^-) o de amonio (NH_4^+). En la planta se combina con componentes producidos por el metabolismo de carbohidratos para formar amino ácidos y proteínas. Siendo el constituyente esencial de las proteínas, está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas y en la elaboración del rendimiento. Un buen suministro de nitrógeno para la planta es importante también por la absorción de los otros nutrientes (IFA, 2002).

Es esencial en la síntesis de aminoácidos y proteínas, importante en la división celular, incrementa el número de flores, mejora el peso y el tamaño de los frutos (ICA,2012).

La necesidad de mantener el balance entre nutrientes obliga a que se hagan aplicaciones de P y K (y otros nutrientes dependiendo del contenido en el suelo) a medida que se incrementa la aplicación de N (CPBA, 2012).

Además, al presentar el suelo una adecuada nutrición se obtiene como resultado una alta productividad, como es el caso de una plantación de cacao clon CCN 51 donde luego de aplicar 61 kg ha^{-1} de N; $29,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 y 183 kg ha^{-1} de K_2O , se obtuvo un rendimiento de $2\ 020 \text{ kg ha}^{-1}$ (Puentes *et al.*, 2016).

Niveles altos de luz con poca disponibilidad de N producen inmediatamente los síntomas de deficiencia típicos (CPBA, 2012).

La carencia de N se manifiesta en reducción de la velocidad de crecimiento de las plantas. Una planta sometida a condiciones de deficiencia detiene su crecimiento en pocas semanas y rápidamente presenta enanismo (CPBA, 2012).

4.7.1.2 Fósforo: Comportamiento y deficiencias

El Fósforo (P), que suple de 0,1 a 0,4 % del extracto seco de la planta, juega un papel importante en la transferencia de energía. Por eso es esencial para la fotosíntesis y para otros procesos

químico-fisiológicos. Es indispensable para la diferenciación de las células y para el desarrollo de los tejidos, que forman los puntos de crecimiento de la planta. El fósforo es deficiente en la mayoría de los suelos naturales o agrícolas o donde la fijación limita su disponibilidad (IFA, 2002).

Promueve el desarrollo de raíces, importante en la formación de flores, frutos y semillas, vital en el proceso de fotosíntesis y en el transporte, almacenamiento y transferencia de energía, acelera la maduración de los frutos (ICA,2012).

Cuando existe deficiencia de fósforo (P) la planta crece lentamente y las hojas, especialmente las más pequeñas, no se desarrollan. Las hojas maduras toman un color pálido en los filos y en las puntas, mientras que las más jóvenes se tornan más pálidas que las venas. Más tarde se queman los filos de las hojas. (CPBA, 2012).

4.7.1.3 Potasio: Comportamiento y deficiencias

El Potasio (K), que suple del uno al cuatro por ciento del extracto seco de la planta, tiene muchas funciones. Activa más de 60 enzimas (substancias químicas que regulan la vida). Por ello juega un papel vital en la síntesis de carbohidratos y de proteínas. El K mejora el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad. Las plantas bien provistas con K sufren menos de enfermedades (IFA, 2002).

Denominado el elemento de la calidad, encargado del engrosamiento de frutos y granos, translocación de los fotosintatos (carga del floema), Regula el agua en las células y en los tejidos (transpiración, concentración de sales), promueve mecanismos de resistencia a plagas y patógenos, activa la absorción de nitratos, aumento de sólidos solubles (ICA, 2012).

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 de tejido viejo a tejido joven (CPBA, 2012). En las hojas maduras los síntomas se inician como parches intervenales de color verde amarillento pálido ubicados cerca de los márgenes foliares (García, 1993).

4.7.1.4 Calcio: Comportamiento y deficiencias

El Calcio (Ca) es esencial para el crecimiento de las raíces y como un constituyente del tejido celular de las membranas. Aunque la mayoría de los suelos contienen suficiente disponibilidad de Ca para las plantas, la deficiencia puede darse en los suelos tropicales muy pobres en Ca.

Sin embargo, el objetivo de la aplicación de Ca es usualmente el del encalado, es decir reducir la acidez del suelo (IFA, 2002).

El calcio ayuda al crecimiento y fortaleza en tallos y raíces jóvenes (división celular y elongación de las células), aumenta la vida de anaquel de frutos y órganos cosechados, componente de la pared celular y de la membrana plasmática (ICA, 2012).

Los síntomas de deficiencia de calcio aparecen en las hojas más jóvenes, las cuales presentan parches necróticos que se inicia como manchas blancas en la región intervenal cercana a los márgenes y que posteriormente pueden fusionarse para formar áreas necróticas marginales, las cuales son más extensas en las hojas de mayor edad. En caso de deficiencia severa hay caída prematura de hojas, muerte de brotes y yemas. Además, causa disminución de crecimiento de la raíz (García, 1993).

4.7.1.5 Magnesio: Comportamiento y deficiencias

El Magnesio (Mg) es el constituyente central de la clorofila, el pigmento verde de las hojas que funciona como un aceptador de la energía provista por el sol; por ello, del 15 al 20 % del magnesio contenido en la planta se encuentra en las partes verdes. El Mg se incluye también en las reacciones enzimáticas relacionadas a la transferencia de energía de la planta (IFA, 2002).

Necesario para la formación de azúcares, aceites y grasas, interviene en el llenado de los frutos, interviene en el metabolismo del fósforo, importante en el cargue del floema de nutrientes elaborados (ICA, 2012).

Los síntomas de deficiencia comienzan con la clorosis en las áreas cercanas a la nervadura central de las hojas más viejas y luego de un tiempo se difunde entre las nervaduras hacia los bordes de la hoja. Las áreas marginales intervenales se tornan pálidas y la necrosis se inicia fusionándose las áreas necróticas más rápidamente en la región intervenal (García, 1993).

4.7.1.6 Azufre: Comportamiento y deficiencias

El Azufre (S) es un constituyente esencial de proteínas y también está involucrado en la formación de la clorofila. En la mayoría de las plantas suple del 0,2 al 0,3 (0,05 a 0,5) % del extracto seco. Por ello, es tan importante en el crecimiento de la planta como el fósforo y el magnesio; pero su función es a menudo subestimada (IFA, 2002).

Se le confiere propiedades insecticidas y fungosas, mejora la asimilación y el metabolismo del Nitrógeno (sinergismo), forma compuestos que confieren resistencia al frío y a la sequía.

El azufre (S) es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas. En la mayoría de estas mezclas, el S se encuentra como sulfato, mientras que unas pocas contienen el nutriente en su forma elemental o bajo ambas formas. El sulfato es la forma bajo la cual las plantas absorben este nutriente, por lo tanto, el S elemental se debe oxidar en el suelo para poder ser absorbido por las plantas. El proceso de oxidación es complejo y está regulado principalmente por el tamaño de la partícula del fertilizante, la temperatura y humedad. Respecto al tamaño de partícula, las granulometrías más apropiadas son las inferiores a 150-200 μm . Es frecuente que el S se aplique en mezclas físicas o químicas y sólidas o líquidas con N y P a la siembra, o con N en estadios vegetativos tempranos (Carcitochi *et al.*, 2015).

Los síntomas de deficiencia de azufre se presentan inicialmente en las hojas nuevas, que desarrollan un color amarillento brillante incluyendo las nervaduras, sin embargo, no existe reducción marcada del tamaño de las hojas. En las hojas viejas se presentan parches amarillentos de tono pálido, mientras que en las nuevas son inicialmente de color amarillo brillante e incluyen las nervaduras (CPBA, 2012).

4.7.2 Micronutrientes

IFA (1992), menciona que, los micronutrientes son requeridos sólo en cantidades ínfimas para el crecimiento correcto de las plantas y tienen que ser agregados en cantidades muy pequeñas cuando no pueden ser provistos por el suelo.

Los micronutrientes son el hierro (Fe), el manganeso (Mn), el zinc (Zn), el cobre (Cu), el molibdeno (Mo), el cloro (Cl) y el boro (B). Ellos son parte de sustancias claves en el crecimiento de la planta. Son absorbidos en cantidades minúsculas, su rango de provisión óptima es muy pequeño. Su disponibilidad en las plantas depende principalmente de la reacción del suelo. El suministro en exceso de boro puede tener un efecto adverso en la cosecha subsiguiente (IFA, 2002). En los siguientes párrafos se detalla el comportamiento y deficiencia de los elementos.

4.7.2.1 Boro

El boro es un nutriente esencial para el desarrollo, crecimiento natural de plantas y rendimiento de la cosecha. Ayuda a la formación de las anteras y también ayuda en la germinación del tubo polínico en la flor del cacao, acelera la fertilización de los óvulos e incluso reduce la caída prematura tanto de flores como de los frutos (Morán *et al.*, 2017).

El boro es esencial para una floración normal, en el caso de plantas deficientes se presenta anomalías como floración profusa en el tallo principal y en las ramas y, a veces, hinchamiento de los cojines florales (García, 1993).

El cacao nacional, así como el CCN-51, tienen un problema, que afecta la producción que es la pérdida o aborto de flores, lo que repercute en la producción de mazorcas y obviamente en el rendimiento de sus cosechas, se estima que se pierde más de un 70 % de la floración en función de la época del año (Morán *et al.*, 2017).

La deficiencia de este elemento ejerce su efecto sobre los puntos de crecimiento activo de la planta y, puesto que es relativamente inmóvil en ella, los síntomas característicos de la deficiencia se presentan en los tejidos más jóvenes, mientras que las hojas maduras aparecen sanas. Uno de los principales síntomas en aparecer es una reducción en el tamaño de los entrenudos, acompañada de la formación profusa de chupones y de unas pocas hojas encrespadas en las cuales se curva la lámina hacia el exterior y el ápice se enrosca (García, 1993).

4.7.2.2 Zinc

El zinc mejora la tolerancia a estrés a través de diferentes mecanismos fisiológicos en las plantas (Grasso *et al.*, 2020).

El zinc es absorbido por la planta como catión divalente (Zn^{2+}) o quelato vía radical o foliar. Este es un elemento transportado vía xilema y relativamente poco móvil en el interior de la planta. El zinc es importante, porque es constituyente de la enzima anhidrasa carbónica, que cataliza la formación de ácido carbónico a partir de CO_2 y agua. Esta enzima está localizada tanto en los cloroplastos como en el citoplasma. Otra función importante, es que hace parte del aminoácido aromático triptófano, precursor de las auxinas (Rodríguez *et al.*, 2004).

Además, interviene en la formación de las auxinas (hormonas de crecimiento), favorece la maduración de los frutos, interviene en la síntesis de la clorofila, estimula el vigor de la planta y el desarrollo vegetativo (ICA, 2016).

Los síntomas de deficiencia de zinc pueden observarse en la hoja en un estado temprano de su desarrollo. Consiste principalmente en deformaciones foliares, cuya gravedad aumenta con los brotes sucesivos. Los síntomas más útiles son las venas prominentes en las hojas muy jóvenes, reducción en el ancho de la lámina foliar, enrollamiento en espiral y, sobre todo, la presencia de un patrón clorótico asociado a las nervaduras principales (García, 1993).

4.7.2.3 Hierro

El hierro está asociado con la producción de clorofila y hormonas de la planta, interviene en el proceso fotosintético, se presenta con deficiencia en suelos alcalinos con alto contenido de Ca, los suelos ácidos suelen carecer de este elemento. Exceso de P y de N ocasionan su deficiencia (ICA, 2012).

Los síntomas de deficiencia del hierro aumentan en gravedad desde la base de la planta hasta los puntos de crecimiento. Aparecen primero en las hojas jóvenes, en casos no severos estas muestran clorosis intervenal bien marcados, mientras que las nervaduras permanecen verdes presentando un contraste marcado con el verde pálido o amarillo verdoso de la zona intervenal. Cuando estas hojas maduran se observan más delgadas y de consistencia similar al papel, a medida que la deficiencia progresa se presenta un ápice agudo y delgado. En casos de deficiencia severa las hojas presentan color blanco amarillento en la lámina y venas de color verde pálido (García, 1993).

4.7.2.4 Manganeso

Importante en la asimilación del P, Ca, y Mg, regula la respiración y la maduración de frutos, es vital en la síntesis de clorofila y en la fotosíntesis móvil en el suelo e inmóvil en la planta. Es antagónico con el hierro. Los síntomas de deficiencia son clorosis intervenal con el cloro y quemazón en hojas jóvenes. (ICA, 2012).

4.7.2.5 Cobre

Es importante en el control de la humedad en los tejidos de la planta y en el crecimiento del tallo y de las hojas, interviene en los procesos de fecundación de flores, fotosíntesis y respiración, promueve resistencia a enfermedades (taninos). Deficiente en suelos arenosos y suelos lixiviados (ICA, 2012).

Por otro lado, exceso de P y de N ocasiona su deficiencia, deficiencias severas producen clorosis y muerte descendente de los brotes terminales (ICA, 2012).

5. METODOLOGÍA

5.1 Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la Estación Experimental “El Padmi” de la Universidad Nacional de Loja, en la provincia de Zamora Chinchipe, cantón Yantzaza, entre las coordenadas 3°51'S y 78°45'O; a una altitud entre 775 y 1150 msnm (Figura 1) (Armijos y Patiño, 2010). El clima se clasifica como Af. (cálido y lluvioso todo el año), con una temperatura media anual de 22.8 °C y una precipitación anual de 1948 mm. El clima corresponde a la transición entre tropical subhúmedo y tropical húmedo (Palacios *et al.*, 2015).

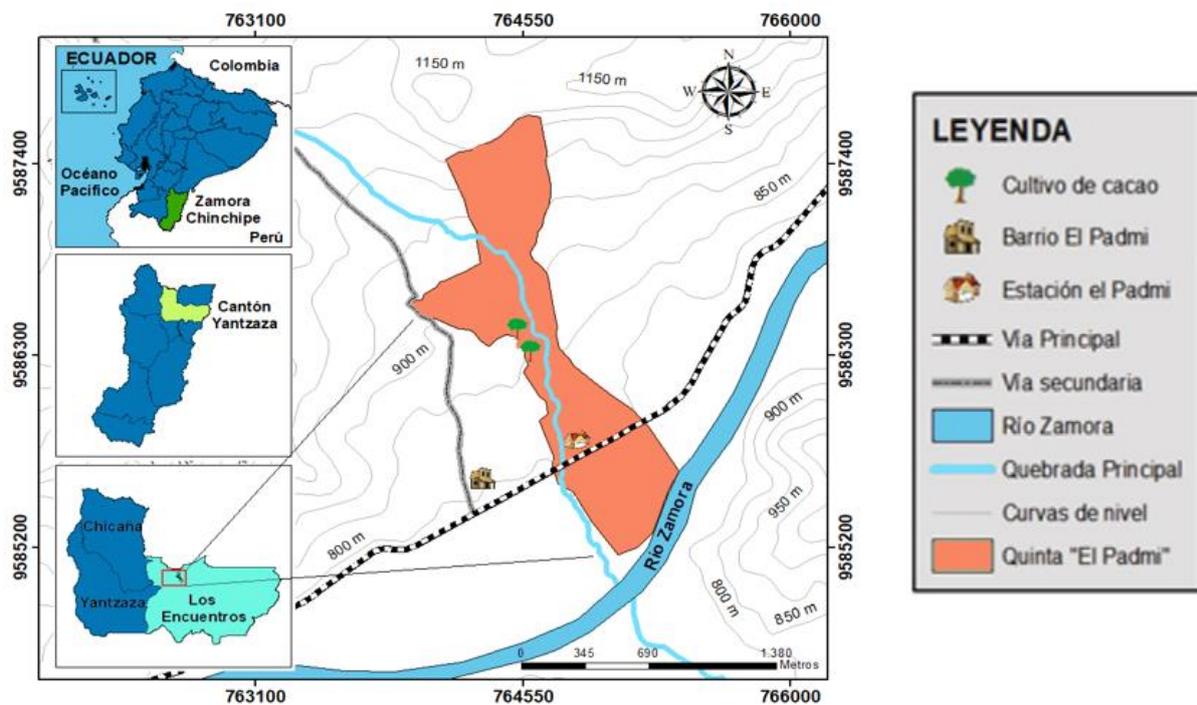


Figura 1. Localización del área de estudio (Estación Experimental El Padmi - UNL).

5.2 Material vegetal

Se realizó la investigación en el cultivo de cacao ya establecido, siendo este parte del proyecto de investigación “Efecto de la radiación fotosintéticamente activa sobre cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Región Sur del Ecuador y sus implicaciones agronómicas”.

El material vegetal corresponde a plantas de cacao, específicamente del clon CCN-51 de un año y ocho meses de edad, las cuales fueron adquiridas en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).

5.3 Análisis de suelo

Se realizó un análisis de suelo previo al inicio del trabajo de tesis, para ello, el muestreo se realizó de forma aleatoria tomando 15 submuestras, estas se homogeneizaron y a través del método de los cuartos opuestos se obtuvo una muestra representativa de un kilogramo y medio. Esta fue enviada al Laboratorio de Manejo de Suelos y Aguas de la Estación Experimental “Santa Catalina” del INIAP para el análisis físico y químico.

5.4 Manejo del experimento

En lo que respecta al cultivo, las plantas se encuentran a una distancia de 3.5 m entre planta y 4 m metros entre hilera.

A partir de los resultados del análisis de suelo (Anexo 1), se pudieron establecer las cantidades de fertilizantes a aplicarse considerando dosis de corrección y dosis de extracción de las plantas por elemento (Anexo 2); de esta manera se establecieron tres tratamientos bajo tres niveles de fertilización. El tratamiento uno (T1) correspondió al testigo, es decir, sin la aplicación de fertilizantes; el tratamiento dos (T2) correspondió al 100 % de la dosis de nutrición (100 % de: dosis de corrección + dosis de extracción del cultivo) equivalente a: 136 kg ha⁻¹ de nitrógeno (N), 14 kg ha⁻¹ de fósforo (P), 156 kg ha⁻¹ de potasio (K), 113 kg ha⁻¹ de calcio (Ca), 47 kg ha⁻¹ de magnesio (Mg), 42 kg ha⁻¹ de azufre (S) y 4 kg ha⁻¹ de boro (B) y el tratamiento tres (T3) correspondió al 200 % de la dosis de nutrición, es decir el doble de las cantidades aplicadas en el T2.

La aplicación de los tratamientos y la recolección de los datos morfológicos se realizó desde el 9 de abril de 2021 hasta el 24 de septiembre de 2021 (fase de campo). Por otro lado, la fase de laboratorio empezó con la recolección de las muestras vegetales el día 26 de septiembre de 2021.

5.5 Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó fue un Diseño Completamente al Azar (DCA), con tres tratamientos, correspondientes a tres niveles de fertilización: Tratamiento 1: 0 % de nutrición (T1); Tratamiento 2: 100 % de nutrición (T2) y Tratamiento 3: 200 % de nutrición (T3) (Tabla 1); con cuatro repeticiones por tratamiento. Se consideró a cada planta de cacao como Unidad Experimental (UE) (Figura 2).

Tabla 1. Descripción de tratamientos del cultivo de cacao CCN 51.

Tratamiento	Descripción (kg ha ⁻¹)	Dosis (%)
T1	Testigo (Sin fertilización)	0
T2	136 de N	100
	14 de P	
	156 de K	
	113 de Ca	
	47 de Mg	
	42 de S	
T3	4 de B	200
	272 de N	
	28 de P	
	312 de K	
	226 de Ca	
	94 de Mg	
	84 de S	
8 de B		

5.5.1 Modelo matemático del diseño experimental

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} . Variable de respuesta.

μ . Media general de la variable respuesta.

τ_i . Efecto del tratamiento (i: 1, 2, 3).

ε_{ij} . Error experimental

5.5.2 Esquema del diseño experimental

El siguiente, es el esquema del diseño experimental aplicado en campo:

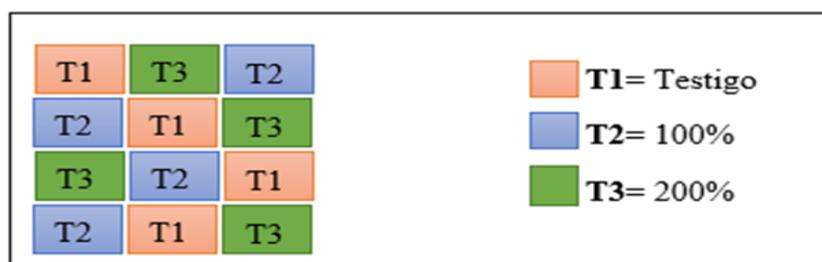


Figura 2. Esquema del diseño experimental en el cultivo de cacao CCN 51, en la estación experimental El Padmi.

- Tres tratamientos (0, 100 y 200 % de fertilización)
- 4 repeticiones
- 12 UE
- Marco de plantación: 3.5 m entre planta y 4 m entre hilera

5.6 Variables evaluadas

5.6.1 pH

El pH se midió aproximadamente cada 20 días durante la fase de campo; para ello, se tomó una muestra de suelo de entre 80 y 100 g de tres puntos alrededor del tronco de la planta en proyección de la copa del árbol a una profundidad de entre cinco y diez centímetros. Las muestras fueron etiquetadas a razón de cuatro repeticiones por tratamiento (12 muestras) y se enviaron al Laboratorio de Análisis Químico de la Universidad Nacional de Loja; para determinar el valor del pH de las muestras.

5.6.2 Conductividad eléctrica

La recolección de muestras se realizó aproximadamente cada 20 días durante la fase de campo; estas muestras fueron recolectadas a una profundidad de entre cinco y diez centímetros del suelo de tres puntos alrededor de la planta en proyección de la copa del árbol, se etiquetaron y se trasladaron al Laboratorio de Análisis Químico de la Universidad Nacional de Loja.

5.6.3 Altura de la planta

Se utilizó un flexómetro para medir la altura desde el cuello de la planta hasta el ápice superior de todas las UE; esta variable se midió cada 20 días hasta los 84 Días Después del Tratamiento (DDT).

5.6.4 Longitud del brote

Los datos de esta variable se tomaron desde el 9 de abril de 2021 hasta el 2 de julio de 2021, y se procedió a etiquetar cuatro brotes del tercio medio de la planta, estos fueron medidos desde la axila del brote hasta su ápice con la ayuda de una cinta métrica; la frecuencia con la que se tomaron estos datos fue de 20 días.

5.6.5 Longitud y número de metámeros

Los datos de estas variables fueron tomados a los 84 DDT; para ello y de los brotes etiquetados, se tomó su longitud final y se dividió para el número total de nudos en el brote.

5.6.6 Área de sección transversal del tronco (ASTT)

Se midió el ASTT del porta injerto y de la bareta al inicio y al final de la fase de campo, para ello, con ayuda de una cinta métrica se midió el diámetro del tronco y con la ayuda de la fórmula del área de la circunferencia a partir del diámetro, se obtuvo el valor final del ASTT.

$$\text{Área de circunferencia} = \pi * \frac{D^2}{4}$$

5.6.7 Diámetro de copa

Esta variable se midió aproximadamente cada 20 días desde el 2 de julio hasta el 24 de septiembre del 2021. Se tomó en cuenta la proyección de la copa del árbol sobre el suelo y con la ayuda de una cinta métrica, se midió el diámetro más corto y el más largo de la copa del árbol y se obtuvo un promedio del diámetro general de la copa del árbol.

5.6.8 Área Foliar (AF) e índice de área foliar (IAF)

En cuanto al área foliar se utilizó la ecuación del área foliar del clon de cacao CCN-51 ajustada al largo de la hoja descrita por Espinoza (2021), en el periodo agosto – diciembre 2020, en estudios de interacción sombra/nutrición (Anexo 4), del mismo macroproyecto de la Universidad Nacional de Loja. Teniendo esto en cuenta, se consideró el largo de todas las hojas de cada planta de cacao 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.

$$IAF = \frac{AF \text{ (de la planta)}}{\text{superficie del suelo}}$$

5.6.9 Concentración de clorofila

La concentración de clorofila se midió al final del ensayo, recolectando cinco hojas de toda la planta, se almacenaron y etiquetaron a razón de cuatro repeticiones por tratamiento y se llevaron

al Laboratorio de Análisis Químico de la Universidad Nacional de Loja, donde se utilizó el método espectrofotométrico descrito por primera vez por Hiscox e Israelstam (1979) y utilizado por Ruiz *et al.*, 2019. Consistió en cortar finamente muestras de hoja de 0.5 cm², de las cuales se pesó 0.5 g de muestra y se maceró en un mortero adicionando 5 ml de solución de acetona al 80 %, hasta extraer el colorante de la muestra, posteriormente, se colocó en un tubo de ensayo para centrifugación a 2000 rpm durante 10 min; 0.5 ml de sobrenadante se ubicó en tubos que contenían 6 ml de acetona, y se pasó al espectrofotómetro para medir el contenido de clorofila en longitudes de onda de 645 y 663 nm.

Para la determinación de la clorofila a, b y total se utilizaron las ecuaciones descritas por Arnon (1949), usando los coeficientes de absorción específicos dados por Mackinney:

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

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

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

5.6.10 Densidad estomática

La densidad estomática se midió al final del experimento, para ello se empleó el método de la impronta descrito por Barrientos *et al.* (2003), que consiste en colocar barniz cosmético de uñas sobre la parte abaxial de las hojas; este se aplicó cubriendo una superficie de aproximadamente 25 mm² del tercio medio de la hoja; una vez seco se retiró y se colocó en un porta objetos para ser observado en el microscopio Olympus CX31 con el objetivo 4x 10 x y 40 x y, mediante el uso del programa Micro Cam Ver 5.7 se fotografiaron tres cuadros de 1000 μm para el conteo de estomas.

5.6.11 Estructura anatómica de las hojas

La estructura anatómica de las hojas se midió al final del experimento, adaptando la metodología Manzano *et al.*, (2014). Así, se realizó un corte transversal fino con un gillette tomando la nervadura central, en el tercio medio de las hojas, el corte se colocó en un frasco con tres mililitros de alcohol al 98 % durante 24 horas, luego se los lavó con agua destilada por

cuatro minutos y se los colocó en hipoclorito de sodio (HCl) al 5.25 %, cuando los cortes se tornaron blanquecinos, se enjuagó por cuatro minutos con agua destilada y se los colocó en una solución de sales (NaCl 8 g y KCl 0.2 g + Toluidina a 0.075 %)/1000 ml durante 1 minuto.

Por último, se sacaron del colorante, se enjuagaron por cuatro minutos, se colocaron en un porta objetos, se cubrieron con un cubre objetos y luego de agregar glicerina se observaron con los objetivos 4x, 10x y 40x. Posteriormente, mediante el uso del programa Micro Cam Ver 5.7 se midió el grosor de la lámina foliar.

5.6.12 Fenología

Cada 20 días aproximadamente se tomó notas de los cambios en los estados fenológicos de las plantas de cacao, basados en la escala BBCH para cacao (Niemenak *et al.*, 2009) (Anexo 3), se consideró cambio de fase fenológica cuando más del 50 % de las plantas presentaron características de un próximo estadio fenológico.

5.7 Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza ANOVA (por sus siglas en inglés) al 95 % para determinar si existen diferencias significativas entre los tratamientos; cuando hubo diferencias, se aplicó una prueba de comparación múltiple de Tukey al 95 % de confiabilidad para determinar el mejor tratamiento. Además, para determinar una relación entre variables cuantitativas, se realizaron pruebas de correlación de Pearson (95 %). Estos análisis se realizaron con el Software InfoStat versión 2019.

6. RESULTADOS

6.1 Parámetros químicos del suelo

6.1.1 pH

El pH no presentó diferencias significativas bajo los tres tratamientos de fertilización ($p > 0.05$) excepto a los 147 DDT, donde se observó que los T2 y T3 redujeron el pH a 4.76 y 4.89 respectivamente, con respecto al testigo cuyo pH se ubicó en 5.51; aunque luego de esta fecha, los valores de pH no fueron estadísticamente diferentes (Figura 3).

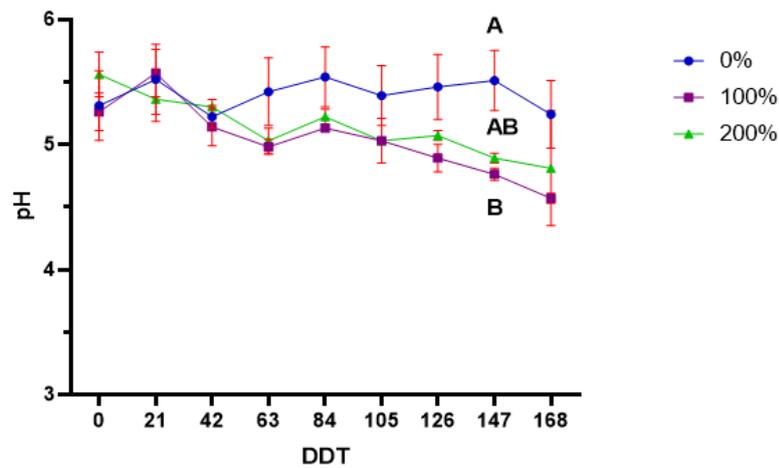


Figura 3. pH del suelo bajo tres niveles de fertilización en el cultivo de cacao CCN-51. Letras iguales entre puntos de un mismo DDT no representan diferencias significativas, según test de Tukey al 95%. Cada punto es el promedio de cuatro repeticiones. Barras en cada punto representa el error estándar.

6.1.2 Conductividad eléctrica (CE)

En lo que respecta a CE, hubo diferencias significativas en los datos referentes a 42, 105, 147 y 168 DDT ($p < 0.05$), no obstante, salvo por los datos de 0 y 21 DDT, se observó que los niveles más altos de CE se refieren a los T2 y T3 (Figura 4).

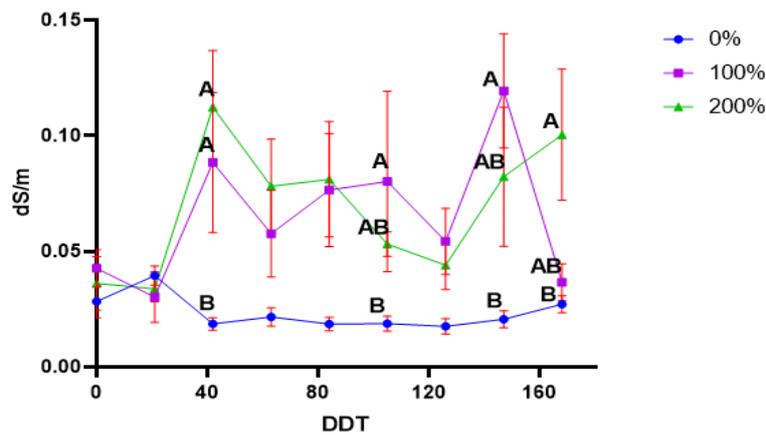


Figura 4. Conductividad eléctrica del suelo bajo tres niveles de fertilización en el cultivo de cacao CCN-51. Letras iguales entre puntos de un mismo DDT no representan diferencias significativas, según test de Tukey al 95 %. Cada punto es el promedio de cuatro repeticiones. Barras en cada punto representa el error estándar.

6.2 Crecimiento vegetativo

6.2.1 Parámetros morfológicos

6.2.1.1 Altura

En lo que respecta a la altura de las plantas, a los 0 DDT presentó un valor medio inicial de 105, 73 y 108 cm en los tratamientos de 0%, 100% y 200% de fertilización respectivamente, por lo que se tomó dicho valor como covariable al analizar los datos. No existieron diferencias estadísticamente significativas bajo ningún tratamiento de fertilización ($p > 0.05$). Los tratamientos mostraron una dinámica de crecimiento similar (Figura 5 A); no obstante, se puede apreciar que el T2 tuvo las plantas más pequeñas, y el testigo mostró las mayores alturas, esto sin llegar a ser estadísticamente distinto; de la misma manera, no se mostraron diferencias estadísticas en el incremento de altura (Figura 5 B), siendo el testigo el tratamiento que más incrementó su altura, sin llegar a ser significativo.

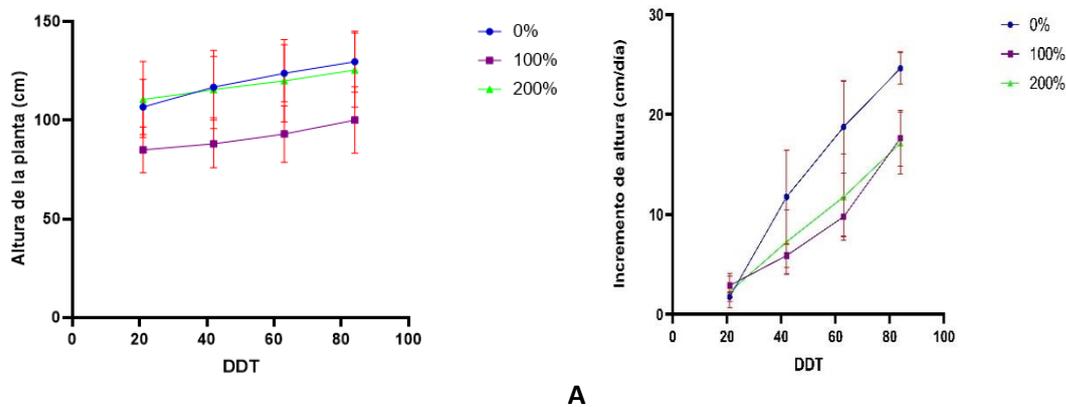


Figura 5. Altura (A) e incremento de altura cm/día (B) de las plantas de cacao clon CCN-51 bajo tres niveles de fertilización. Cada punto es el promedio de cuatro repeticiones. Barras en cada punto representa el error estándar.

6.2.1.2 Longitud del brote

Al igual que en la altura, se tomó la longitud del brote a los 0 DDT como covariable, tras un análisis estadístico se determinó que no existieron diferencias ($p > 0.05$) (Figura 6 A); no obstante, se puede apreciar que el testigo presenta una mayor longitud de brote, mientras el T3 presentó la menor longitud entre los brotes; lo mismo ocurre al analizar el incremento en la

longitud del brote (Figura 6 B); el tratamiento con el incremento más alto es el T1 y T2; cabe recalcar que estas diferencias no llegan a ser estadísticamente significativas.

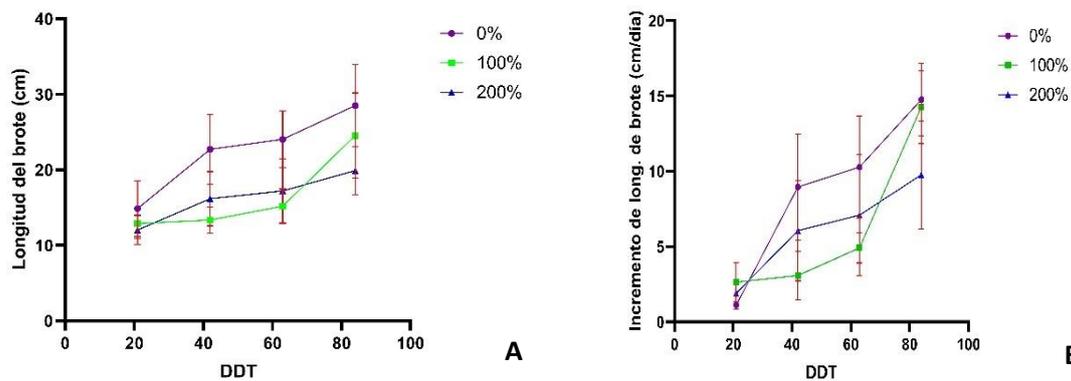


Figura 6. Longitud del brote (A) e incremento de la longitud del brote cm/día (B) bajo tres niveles de fertilización en el cultivo de cacao CCN-51. Cada punto es el promedio de cuatro repeticiones. Barras en cada punto representa el error estándar.

6.2.1.3 Longitud y número de metámeros

Tanto la longitud de los metámeros como el número de metámeros por brote no presentaron diferencias estadísticas entre ellos ($p > 0.05$), es decir el nivel de fertilización no influyó en su longitud y en el número de hojas por brote (Tabla 2).

Tabla 2. Longitud y número de metámeros de brotes de cacao clon CCN-51 bajo tres niveles de fertilización.

Tratamientos	Long. brote (cm)	N. metámeros	Long. metámeros
0 %	32.46	10.17	3.29
100 %	30.73	10.92	2.88
200 %	30.17	10.50	2.94

6.2.1.4 Área de sección transversal del tronco (ASTT)

Estas variables fueron medidas para el porta injerto y para la bareta de las plantas, en ambos casos, no se presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tres tratamientos de fertilización, tanto al inicio como al final del ensayo, cabe mencionar que, por la propia morfología del cultivo, el ASTT del porta injerto es mayor al de la vareta (Figura 7 A y B).

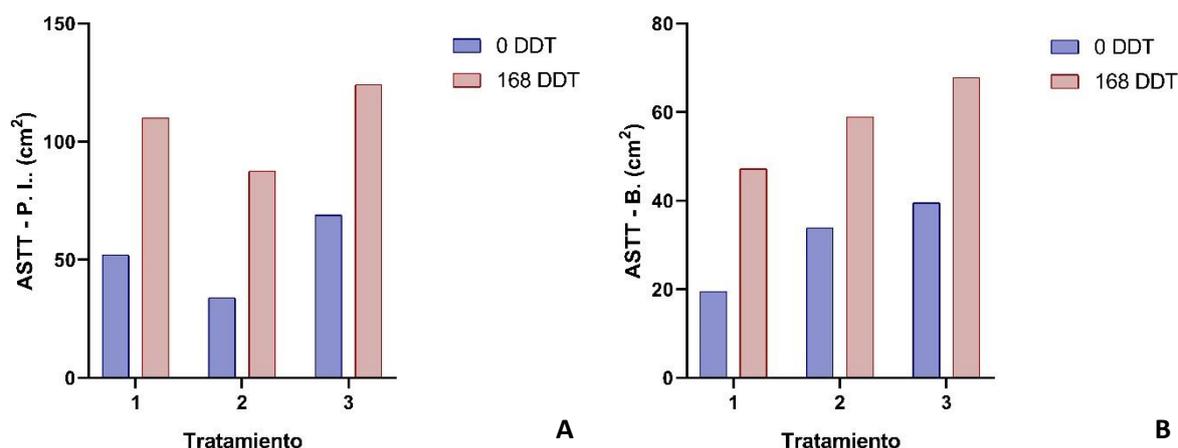


Figura 7. Área de sección transversal del tronco de plantas de cacao CCN-51 bajo tres niveles de fertilización: A) porta injerto, y B) bareta.

6.2.1.5 Diámetro de copa

En cuanto al diámetro de copa, este no se vio influenciado por la fertilización aplicada al cultivo, es decir, no presento diferencias significativas ($p > 0.05$), y su dinámica de crecimiento fue similar bajo los tres tratamientos (Figura 8), destacándose el T3, el cual presentó los valores más altos al final del ensayo.

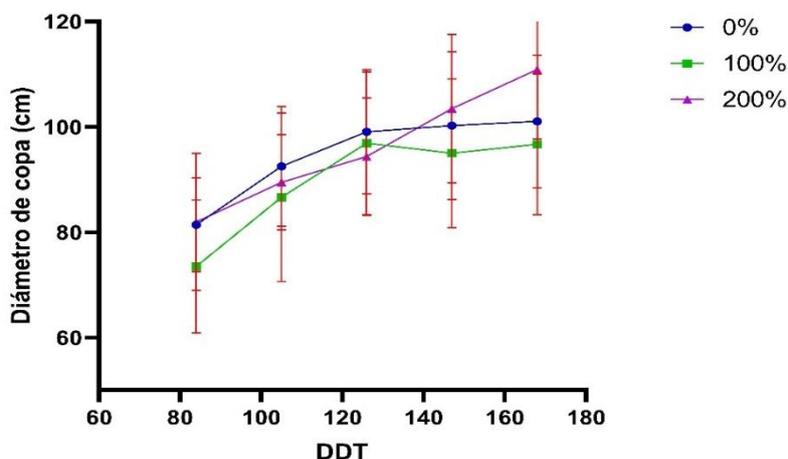


Figura 8. Diámetro de copa influenciada por tres niveles de fertilización en el cultivo de cacao CCN-51. Cada punto es el promedio de cuatro repeticiones. Barras en cada punto representa el error estándar.

6.2.1.6 Área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF)

El área foliar no se vio afectada por los niveles de fertilización aplicados, es decir no presentó diferencias estadísticas entre sus tratamientos (Figura 9). Sin embargo, se puede apreciar que el AF del T3 fue ligeramente mayor a los valores del T1 y T2, estos sin llegar a ser significativos.

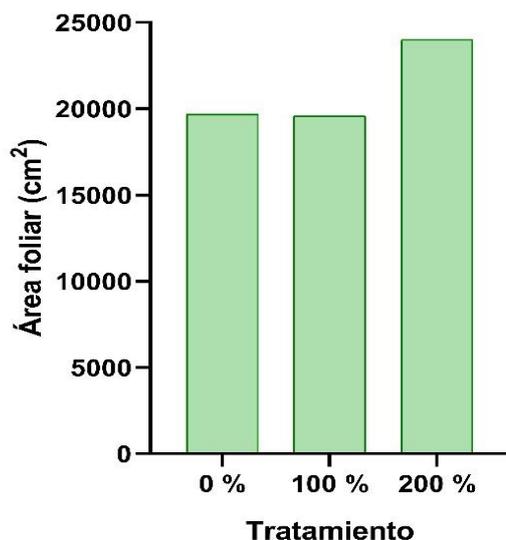


Figura 9. Área foliar bajo tres niveles de fertilización en el cultivo de cacao CCN-51.

De la misma manera, el IAF no presentó diferencias estadísticas entre los tratamientos, y al estar relacionado directamente con el AF, los valores fueron relativamente similares a los encontrados en el AF (Figura 10), es decir el IAF del T3 es ligeramente mayor a los del T1 y T2, sin llegar a ser significativos.

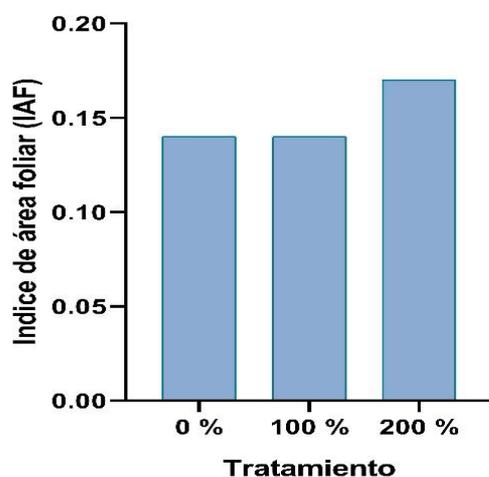


Figura 10. Índice de área foliar bajo tres niveles de fertilización en el cultivo de cacao CCN-51.

6.2.2 Parámetros fisiológicos

6.2.2.1 Concentración de clorofila

Los resultados muestran que existen diferencias estadísticas ($p < 0.05$) en la concentración de clorofila, de esta manera, se puede apreciar que el T2 presentó el nivel más alto de

concentración de clorofila, en contraposición al testigo que mostró la menor concentración (Figura 11).

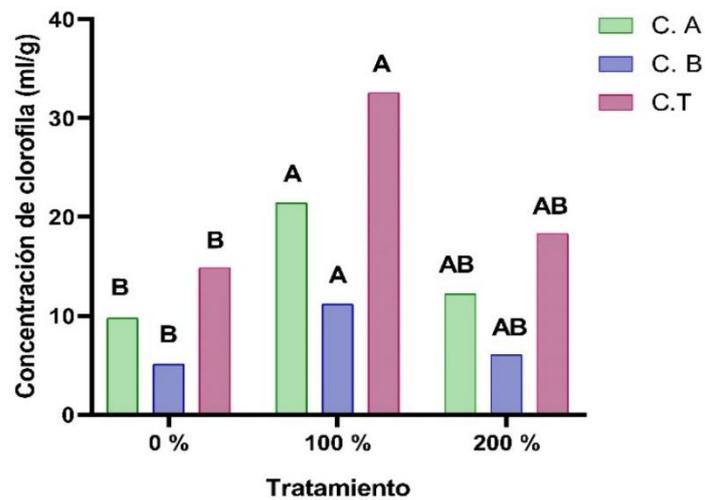


Figura 11. Concentración de clorofila bajo tres niveles de fertilización en el cultivo de cacao CCN-51. Letras iguales entre barras del mismo color no representan diferencias significativas, según test de Tukey al 95%.

6.2.2.2 Densidad estomática

En lo que respecta a densidad estomática, no se observaron diferencias estadísticas ($p > 0.05$), es decir esta variable no se vio afectada por los niveles de fertilización aplicados al cultivo (Figura 12 y 13).

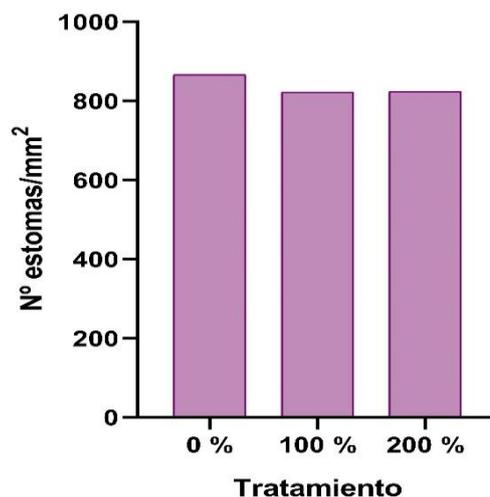


Figura 12. Densidad estomática bajo tres niveles de fertilización en el cultivo de cacao CCN-51.

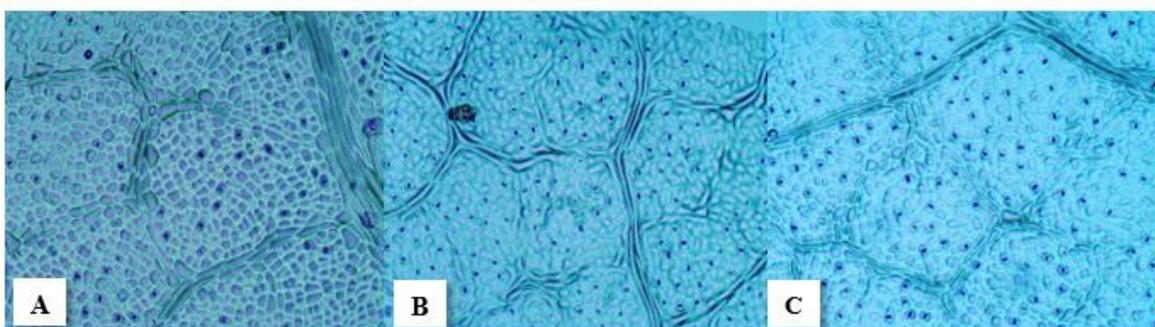


Figura 13. Estomas en el envés de la hoja de cacao CCN-51 obtenidas con el microscopio Olympus CX31 objetivo 10X. **A.** Impronta de tratamiento de 0 % de fertilización (T1); **B.** Impronta de tratamiento de 100 % de fertilización (T2); **C.** Impronta de tratamiento de 200 % de fertilización (T3).

6.2.2.3 Estructura anatómica de las hojas

Los análisis de estructura anatómica de las hojas, mostraron que existen diferencias significativas en el ancho de lámina foliar de las hojas de cacao bajo tres niveles de fertilización ($p < 0.05$), de esta manera, se observó que el mayor ancho de lámina foliar perteneció al T1 con $175.71\mu\text{m}$ (Figura 14 y 15).

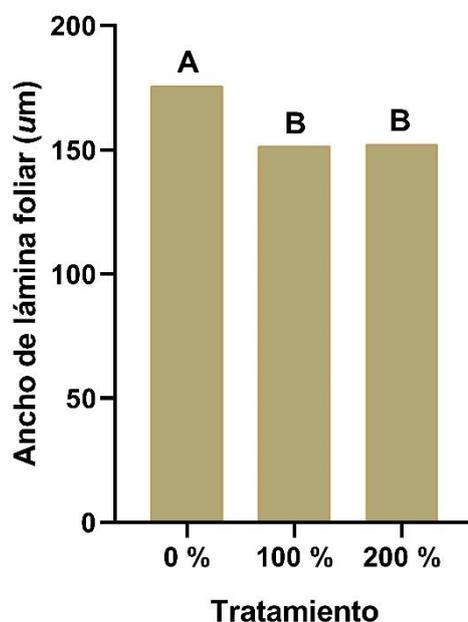


Figura 14. Ancho de lámina foliar bajo tres niveles de fertilización en el cultivo de cacao CCN-51. Letras iguales entre barras del mismo color no representan diferencias significativas, según test de Tukey al 95%.

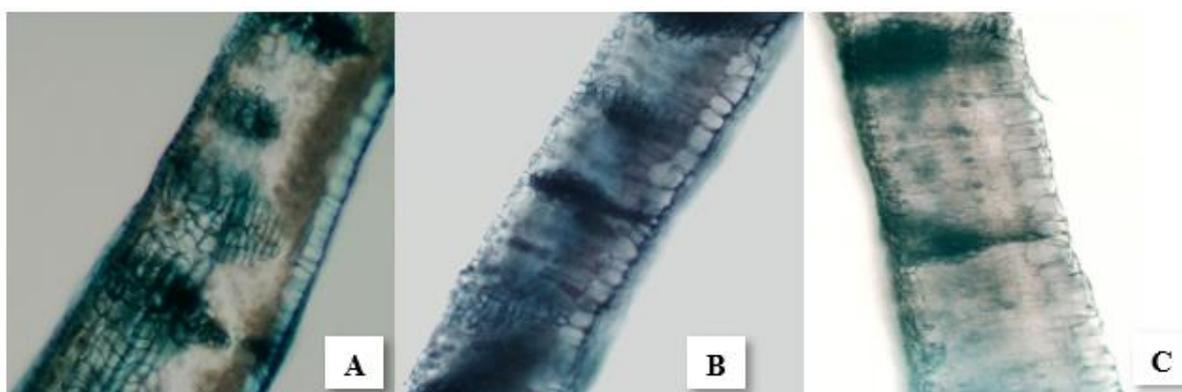


Figura 15. Ancho de la lámina foliar bajo tres tratamientos de fertilización en el cacao CCN-51 obtenidas con el microscopio Olympus CX31 objetivo 10X. **A.** Corte transversal de tratamiento de 0 % (T1); **B.** Corte transversal de tratamiento de 100 % (T2); **C.** Corte transversal de tratamiento de 200 % (T3).

6.2.2.4 Fenología del cultivo

Al final del experimento se pudo apreciar que la fenología del cultivo se vio afectada por los niveles de fertilización (Figura 16), de esta manera se puede observar en la Tabla 3 que el menor tiempo transcurrido hasta floración se logró en el T3, siendo este el tratamiento que permitió el cuajado de frutos en un tiempo más corto, en contraposición al T1, que tardó más días hasta antesis y no cuajó frutos hasta el final de la fase de campo de la presente investigación.

Tabla 3. Fenología del cultivo de cacao CCN-51 bajo tres niveles de fertilización.

Trat.	Fase Vegetativa		Primeros botones florales		Antesis (Plena floración)		Cuajado de fruto	
	Días	Código	Días	Código	Días	Código	Días	Código
0 %	734		735	3a –	777	3b –	-	-
100 %	692	2d – BBCH 50	693	BBCH 55	735	BBCH 61	756	3c – BBCH 70
200 %	671		672		693		714	3c – BBCH 70

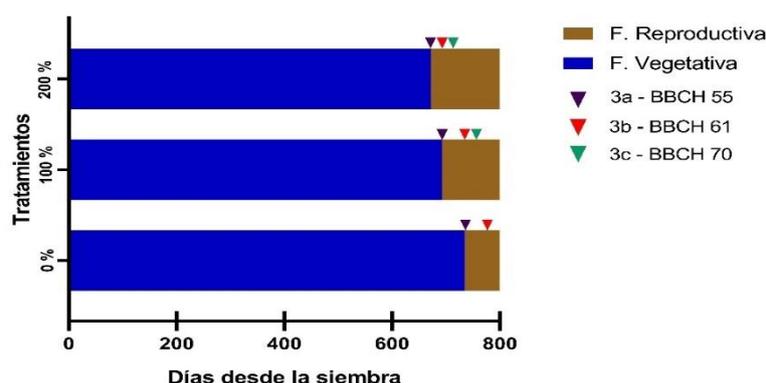


Figura 16. Fenología del cultivo de cacao CCN-51, influenciado por tres niveles de fertilización.

6.3 Correlaciones

Dentro de las correlaciones analizadas, se puede destacar la relación positiva significativa entre altura y longitud de brote, con un $r = 0.76$ y de altura con ASTT, AF, IAF y diámetro de copa todas con un $r = 0.8$; esta misma tendencia se observó en las correlaciones de las variables longitud de brote, ASTT, AF e IAF y diámetro de copa, que entre ellas presentan valores de r igual a 0.8 (Tabla 4).

Tabla 4. Correlaciones entre variables morfológicas y fisiológicas.

Variable 1	Variable 2	Coefficiente de correlación de Pearson (r)	p – valor
Altura	Longitud de brote	0.76	< 0.05
	N. metámeros	0.65	< 0.05
	ASTT PI	0.88	< 0.001
	ASTT B	0.81	< 0.01
	AF	0.87	< 0.001
	IAF	0.87	< 0.001
	Diámetro de copa	0.85	< 0.001
Longitud de brote	N. metámeros	0.94	< 0.001
	ASTT PI	0.74	< 0.01
	ASTT B	0.68	< 0.05
	AF	0.82	< 0.001
	IAF	0.82	< 0.001
	Diámetro de copa	0.87	< 0.001
N. metámeros	ASTT PI	0.69	< 0.01
	ASTT B	0.64	< 0.05
	AF	0.78	< 0.01
	IAF	0.78	< 0.01
	Diámetro de copa	0.88	< 0.001
ASTT PI	ASTT B	0.93	< 0.001
	AF	0.90	< 0.001
	IAF	0.90	< 0.001
	Diámetro de copa	0.89	< 0.001

ASTT B	AF	0.91	< 0.001
	IAF	0.91	< 0.001
	Diámetro de copa	0.84	< 0.001
AF e IAF	Diámetro de copa	0.94	< 0.001

7. DISCUSIONES

Concluida la fase de campo, se analizaron los parámetros químicos del suelo; de esta manera, se pudo observar que el pH del suelo presentó diferencias estadísticas a los 147 días de tratamiento, los tratamientos de 100 y 200 % de fertilización redujeron sus niveles de pH (Figura 3), a diferencia del testigo cuyos niveles de pH se mantuvieron entre 5.1 y 5.5 durante los 168 DDT; no obstante, a los 168 DDT no se encontraron diferencias entre los tratamientos.

Esta variabilidad en los valores de pH es explicado por Sánchez *et al.* (2003), ya que indica, que varían en cada uno de los momentos de evaluación por el contenido de sales, actividad biológica del suelo y épocas secas o de invierno; pues las diferencias entre los niveles de pH a los 147 DDT, pudieron ser afectados por una disminución en la precipitación en la zona de estudio. Adicional a esto, se encuentran las propias características de los suelos de la provincia de Zamora, que son considerados ácidos (INIAP, 2014). Cabe mencionar que la forma en la que la planta toma el nitrógeno (nitrato o amonio) repercute en los niveles de pH, si el nitrógeno se absorbe como amonio se agregan protones disminuyendo el pH; por el contrario, si el nitrato es absorbido, se desplazan mayor cantidad de aniones incrementando el pH. Sin embargo, el exceso de este tipo de N ayuda a la formación de sales que al acumularse tienden a reducir el pH (Paramo *et al.*, 2014); ya que la forma en la que se suministró nitrógeno al suelo en este estudio fue en forma de nitrato a través de nitrato de amonio (Anexo 2).

Es preciso señalar que los valores de pH del tratamiento testigo se mantuvieron entre los 5.1 y 5.5; encontrándose dentro de los propuestos por Dostert *et al.* (2011), quienes expresan que las plantas de cacao toleran rangos de 5.0 a 7.5, fuera de estos valores se debe hacer correcciones en el suelo del cultivo.

En lo que respecta a la conductividad eléctrica (CE), se pudo observar que a los 42, 105, 147 y 168 DDT, mostraron diferencias estadísticas, los tratamientos con 100 y 200 % de fertilización mostraron resultados variables y mayores que el testigo, que se mantuvo casi constante durante la fase de campo (Figura 4).

La variabilidad en la CE mostrada en los tratamientos de fertilización, puede estar sujeta a varias condiciones, presencia de MO, y acumulación de cationes como: Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ o H^+ que

elevan la CE (Patrick, 1985). La razón de que estos valores sean en extremo mayores a los valores del tratamiento testigo, radica en la aplicación de fertilizantes pues, según Alvarado (2017) todos los fertilizantes son sales, asegurando que si se deja de fertilizar estos valores disminuirán. Estas consideraciones son apoyadas en los resultados obtenidos por Meter (2019), ya que describe que, valores elevados de CE indican un suelo fértil debido a que los cationes se mantienen en los sitios de intercambio catiónico. Los suelos salinos (altos niveles de cationes y CE) son dañinos para la planta (Khoshgoftar *et al.*, 2004); ya que si bien los análisis mostraron altos niveles de CE estos pueden ser explicados por el alto contenido de materia orgánica y altas precipitaciones, características propias de la zona (Espinoza *et al.*, 2006).

De esta manera, se puede decir que el pH y conductividad eléctrica son variables de importancia para el desarrollo del cultivo de cacao, ya que Venturo (2017), mostró que están relacionada directamente con la capacidad de absorción y solubilidad de los elementos. Además, influye en estructura, descomposición de sustancias orgánicas y en la actividad microbiana de los suelos. Esto podría indicar que, si las condiciones de suelo son ácidas y no se mejoran, la vigorosidad de la planta se ve afectada, ya que se limita la absorción de nutrientes (López *et al.* 2018).

Por otra parte, las variables morfológicas como altura, longitud de brote, longitud y número de metámeros, área de sección transversal del tronco (ASTT), diámetro de copa, área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF), no se vieron influenciadas por los niveles de fertilización de 0, 100 y 200 %.

En cuanto a la altura, se puede observar que las plantas del tratamiento testigo y T3 (200 %), alcanzaron una altura ligeramente superior, no obstante, estos resultados pueden deberse a una altura inicial de las plantas, por lo que tras analizar el incremento de altura se pudo observar que el testigo, alcanzó un incremento mayor, aunque no llega a ser estadísticamente diferente.

La similitud entre las alturas de los diferentes tratamientos puede deberse a que las plantas de un mismo clon, presentan poca variabilidad entre sus características, además, la morfología propia de este clon, describe plantas de crecimiento erecto, pero de baja altura (Vélez, 2018 y García, 2020). Las plantas de CCN-51, muestran primero un crecimiento no ramificado hasta una altura de uno a dos metros (en este ensayo presentaron alturas de 1.29 m, 1 m y 1.25 m para T1, T2 y T3 respectivamente) antes de que la primera ramificación tome lugar, en la etapa vegetativa temprana (hasta el segundo año), aspecto que se presenta en la mayoría de clones cultivados en la zona y característica que se describe teniendo en cuenta que las plantas de estudio alcanzaron los 20 meses (1 año y 8 meses) (Dostert *et al.*, 2011).

En lo que respecta a la longitud del brote, no se observó diferencias significativas entre los tratamientos, y la tendencia de incremento se presenta similar a la observada en el caso de la altura, se puede observar que los tratamientos testigo y de 100 % presentaron un incremento ligeramente mayor al tratamiento de 200 % de fertilización. La longitud de los brotes está condicionada a alargarse tanto como se los permita condiciones como temperatura, precipitación, fertilización y características genéticas propias de la especie (Ferrás *et al.* 2017); aunque por la complejidad de factores internos y externos, es muy difícil estimar la influencia del ambiente sobre el crecimiento del cacao (Amores *et al.* 2009).

Es importante mencionar que el crecimiento y desarrollo del cacao es influenciado por un complejo de factores genéticos, fisiológicos y morfológicos y sus interrelaciones con las variables ambientales como la concentración de dióxido de carbono, temperatura o disponibilidad de luz; todos estos factores afectan la habilidad del cacao para absorber, transportar y utilizar nutrientes (Baligar *et al.*, 2008; Amores *et al.*, 2009).

Es en este sentido, en que se relacionan los niveles de pH y CE descritos anteriormente, estos podrían indicar que, si las condiciones de suelo son ácidas y no se mejoran, la vigorosidad de la planta se ve afectada, limitando la absorción de nutrientes; hacemos referencia a la altura y longitud de brotes, ya que los T2 y T3, presentaron niveles más bajos de pH que el tratamiento testigo, quien mostro un incremento de altura superior. Esto se puede explicar debido a que, en el sitio de investigación, existe gran cantidad de materia orgánica; que junto con procesos ambientales y actividad microbiana, elevan la capacidad de movilización de nutrientes en el suelo y del suelo a la planta; además, cabe mencionar que el clon CCN-51, presenta una mayor eficiencia nutricional, por lo que no necesita cantidades grandes de fertilizantes (García, 2007 y Paramo, 2016).

Estas consideraciones son observadas al analizar variables como longitud y número de metámeros, ASTT, que durante la fase de campo no presentaron diferencias entre los tratamientos (Tabla 2 y Figura 7); en cuanto al número de metámeros, su longitud y el ASST, estos son importantes para establecer actividades tendientes a incrementar cantidades de biomasa que están ligados a la parte aérea de la planta; razón por la cual, el diámetro de copa tampoco reflejo diferencias significativas (Figura 8). Al realizar una fertilización nitrogenada y al tener el suelo una característica ácida, los nutrientes como el Ca, es removido y en menor grado el Mg; generando que las hojas se vean afectadas mostrando una necrosis en los bordes, afectando de esta manera no solo al diámetro de copa sino también al área foliar e índice de

área foliar puesto que estas dos últimas variables tampoco reflejaron diferencias estadísticas bajo los tres tratamientos de fertilización (Lambers *et al.*, 2008; Mantilla *et al.*, 2009 y Arguello *et al.* 2016).

Luego de concluir la fase de campo se evaluaron variables relacionadas con la fisiología de la planta, en cuanto a la densidad estomática, no presentó diferencias estadísticas (Figura 12), es decir el nivel de fertilización no influyó en el número de estomas por milímetro cuadrado, sin embargo, el número de estomas, es ligeramente superior en el tratamiento testigo. Estos resultados son equivalentes con los reportados por Zambrano (2017), quien encontró promedios de 877.50 estomas mm^{-2} , en la región de Quevedo – Ecuador en clones de CCN-51. Se puede apreciar que el tratamiento testigo ligeramente presenta una cantidad mayor de estomas, esto podría deberse a que la cantidad de estomas varía bajo diferentes condiciones ambientales, por lo que puede diferir entre plantas de la misma especie, entre hojas de la misma planta e incluso entre sectores de la misma hoja (Tian *et al.*, 2016).

Por su parte, en los niveles de concentración de clorofila se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, las plantas fertilizadas con un 100 % de la dosis requerida, presentaron mayor concentración de clorofila (Figura 11), esto puede ser explicado ya que, al tener un aporte extra de cloruro, por la adición del fertilizante muriato de potasio, regula de manera positiva el intercambio gaseoso y actúa como auxiliar para el metabolismo y la síntesis de clorofila (Bloodnick, 2021).

En cuanto al T3, mostró niveles intermedios de concentración de clorofila, esto puede estar relacionado con los efectos de la sobre fertilización y las reacciones que causan estas acciones sobre parámetros como pH y absorción de nutrientes; el pH indicado para el correcto desarrollo del cultivo se encuentra entre 5.0 y 7.5, y el pH del suelo del T3, se encontró en 4.89, trayendo consigo una sobre salinización del suelo y evitando la absorción de elementos esenciales que regulan el metabolismo de la planta, el intercambio gaseoso y la síntesis de clorofila (Bloodnick, 2021).

Un incremento de fósforo en el suelo disminuye las relaciones de Mg/K y Ca+Mg/K por la estrecha relación que tiene estos elementos, además, de favorecer la formación de sales que no son absorbidas por las plantas, trayendo consigo un desorden en la proporción de Ca^{2+} , K^+ Na^+ , Cl^- , que evitan la correcta síntesis de clorofila, funciones metabólicas e intercambio gaseoso (Barber, 1995 y Bloodnick, 2021).

Jaimez *et al.*, (2018), indica que al haber un buen intercambio gaseoso la tasa de fotosíntesis tiende a aumentar lo que puede explicar el caso del T2, que con un correcto nivel de fertilización la regulación del pH para la absorción de nutrientes que controlan la apertura y cierre de estomas regulan el intercambio de gases y la síntesis de clorofila; en contraste con los tratamientos testigo y de 200 % de fertilización cuya falta de nutrientes y exceso de los mismo, respectivamente, trajo consigo desordenes en la absorción de iones que actúan en la producción de clorofila o intercambio gaseoso (Nughes *et al.*, 2013; Naizaque *et al.*, 2014 y Tian *et al.*, 2016).

En cuanto al ancho de la lámina foliar, presentó diferencias significativas entre los tratamientos, el testigo reflejó los valores más altos (Figura 13), este aspecto puede explicarse ya que el ancho de las láminas foliares es muy variable, dependiendo de la edad y de la ploidía de los diferentes cultivares; esto constituye un factor que ayuda a la clasificación de los diferentes clones, dependiendo de las condiciones en las que se desarrolle el cultivo. El mesófilo (parénquima fotosintético) forma una empalizada abaxial de 2 a 4 capas de profundidad, el cual es reemplazado por canales de aire, ocasionalmente atravesado por pequeñas células clorenquimáticas, de menor tamaño cuando las condiciones fisiológicas no son las correctas y el intercambio gaseoso es deficiente (Iglesias, 2016).

Estos mismos aspectos, tanto morfológicos como fisiológicos, afectan el desarrollo de la planta, pues al seguir la fenología del cultivo (Tabla 3 y Figura 14), se pudo observar que el T3 presentó un ciclo vegetativo más corto, y su fase reproductiva se presentó ligeramente más temprano que los T2 y T1; aunque la aplicación de un exceso de fertilizantes acidificó el suelo y afectó la absorción de elementos como: Ca^{2+} , Na^+ y Cl^- , facilitó la absorción de P_2O_5 y K^+ , elementos importantes en la fase reproductiva tanto para la aparición de las yemas y brotes florales como para el cuajado y crecimiento del fruto. De esta manera, el P y el K en la planta cumplen funciones de transferir energía dentro de la planta y aceleran el flujo y traslocación de los productos asimilados, tales como azúcares y almidones que son formados durante la fotosíntesis y luego transportados hasta los órganos de reserva, por tal razón estos elementos son importantes en la formación de frutas, granos y semillas (Molina, 2002 y López *et al.*, 2018).

8. CONCLUSIONES

- El pH del suelo del clon CCN-51, bajo las condiciones del presente experimento, disminuyó progresivamente con la aplicación de fertilización (100 % y 200%) alcanzando valores

inferiores a 5; por lo tanto, la CE del suelo aumentó; mientras que, sin aplicación de fertilizantes, tanto el pH como la CE, se mantienen constantes.

- Los distintos niveles de fertilización no influyeron en aspectos morfológicos de la planta; sin embargo, las variables fisiológicas como concentración de clorofila y ancho de la lámina foliar, se vieron afectados por el nivel de fertilización, siendo la aplicación de un 100 % la que mayor acumulación de clorofila presentó con un 119 % mayor de clorofila total con respecto al testigo. Mientras que, el ancho de la lámina foliar de los tratamientos fertilizados (100 % y 200 %) disminuyó aproximadamente un 14 % en relación al testigo.

- El aporte de fertilización de 100 % y 200 % ayudó al inicio de la fase reproductiva en el cultivo, acortando la fase vegetativa con 42 y 63 días respectivamente con respecto al testigo que tuvo la fase más larga. Los tratamientos fertilizados presentaron cuajado de frutos, mientras que, el testigo iniciaba la floración.

9. RECOMENDACIONES

- El aporte de fertilizantes trae consigo cambios en aspectos físicos y químicos en el suelo, y estos influyen en el crecimiento y desarrollo de la planta, sin embargo, es importante tener en cuenta la cantidad de extracción por elemento que la planta realiza, tras la absorción de nutrientes del suelo, para determinar la eficacia de aplicación y absorción de diferentes fuentes de nutrición y fertilización por lo que se recomienda, en estudios posteriores, la inclusión de esta variable, además de un análisis bromatológico de los órganos de la planta como hojas, tallos y frutos para determinar la concentración de nutrientes y determinar la extracción de nutrientes por producción y de esta manera detallar la cantidad de dosis de aplicación de fertilizantes.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, A. (2017). Estudio económico de la producción de cacao y las principales enfermedades de la variedad ccn-51 en el cantón la troncal. Guayas, Ecuador. pp. 5.
- Alvarado, A., Holguín, B., Abad, M. (2017). Estudio económico de la producción de cacao y las principales enfermedades de la variedad ccn-51 en el cantón la Troncal, Guayas, Ecuador. Dialnet, 10(30).
- Amores, F., Palacios, A., Jiménez, J., y Zhang, Z. (2009). Entorno ambiental, genética, atributos de calidad y singularización del cacao en el nor oriente de la provincia de Esmeraldas. Estación Experimental Tropical Pichilingue, INIAP. Quevedo, Boletín técnico N° 135. EC. pp 1 – 7, 10 – 11
- ANECACAO (Asociación Nacional de Exportadores de Cacao- Ecuador), (2015). Cacao CCN 51. Recuperado en: <http://www.anecacao.com/index.php/es/quienes-somos/cacaoccn51.html>.
- Argüello, A., Madiedo, N., Moreno, L. (2016). Cuantificación de bacterias diazótropas aisladas de suelos cacaoteros (*Theobroma cacao* L.), por la técnica de Número Más Probable (NMP). Revista Colombiana de Biotecnología, vol. XVIII, núm. 2. Julio-diciembre, 2016, pp. 40-47. Universidad Nacional de Colombia Bogotá, Colombia <https://www.redalyc.org/pdf/776/77649147005.pdf>
- Armijos, D. y Patiño, A. (2010). Herpetofauna de un bosque húmedo tropical en la Estación El Padmi, de la Universidad Nacional de Loja. Revista CEDAMAZ. Volumen 1(1), 57-64.
- Arnon DI. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoxidase in beta vulgaris. Plant physiology 24:1-15.
- Arvelo, M., González, D., Moroto, S., López, T., Rodríguez, P. (2017). Manual técnico del cultivo de cacao Prácticas Latinoamericanas: Buenas prácticas del manejo del cacao. San José Costa Rica: Miguel A. Arvelo. 165p.
- Baligar, V., Bunce, J., Machado, R., y Elson, M. (2008). Photosynthetic photon flux density, carbon dioxide concentration, and vapor pressure deficit effects on photosynthesis in cacao seedlings. Photosynthetica, 46(2), 216-221.
- Barber S. (1995) Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach. 2nd Edition. New York: Wiley, pp. 414.

- Barrientos, A., Borys, M., Trejo, C., López, L. (2003). Índice y densidad estomática foliar en plántulas de tres razas de aguacatero. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(4): 291-299.
- Barros, N. (1981). *Ecología y fisiología del cacao*. Capítulo III. AGROSIVA (Corporación colombiana de investigación agropecuaria). 43-61p.
- Beriguete, P. (2015). Extracción de nutrientes esenciales en frutos de clones de cacao en producción en dos regiones en Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica Vicerrectoría de Investigación y Extensión, Dirección de Proyectos Escuela de Agronomía. Costa Rica. Recuperado en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6419/INFORME%20FINAL%20Revisado%20y%20corregido%201.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Beriguete, P. (2017). Extracción de nutrientes por los frutos de cacao en dos localidades en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1): 113-129.
- Bloodnick, E.. (2021). La función del sodio y del cloruro en el cultivo de plantas. febrero 13, 2022, de PROMIX Sitio web: <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-sodio-y-del-cloruro-en-el-cultivo-de-plantas/>
- Carciochi, W., Divito, G., Reussi, N., Echeverria, H. (2015). Las mejores prácticas de manejo de la fertilización azufrada en cultivos extensivos.
- CPBA (Red de Productores de Cacao de la región Caribe colombiana), 2012. Guía técnica para el establecimiento y manejo del cultivo de cacao. Bogotá, Colombia. 54p.
- Cuenca, E., Puentes, Y., y Menjivar, J. (2019). Uso eficiente de nutrientes en cacao fino de aroma en la provincia de Los Ríos-Ecuador. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 72(3).
- De la Cruz, J., Vargas, M., Coronel, O. (2017). *Cacao Operaciones Poscosecha*. Veracruz: AGST/FAO Danilo Mejía, PhD, FAO. 77p.
- Dostert, N., Roque, J. Cano, A., La Torre, M., y Weigend, M.. (2011). Factsheet: Datos botánicos de cacao *Theobroma cacao* L.. agosto 04, 2020, de PromPerú Sitio web: http://repositorio.promperu.gob.pe/bitstream/handle/123456789/1051/Factsheet_datos_botanicos_cacao_2011_keyword_principal.pdf?sequence=1
- Dostert, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M., Weigend, M. (2011). Factsheet: Datos botánicos de cacao *Theobroma cacao* L. Perú. 17p.

- 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. mayo 04, 2021, de Universidad Nacional de Loja Sitio web: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23934/1/Jorge%20Geovanny%20Espinosa%20Masa.pdf>
- Espinoza, L., Stalon, N., Mozaffari, M. (2006). Como Interpretar los Resultados de los Análisis de Suelos. University of Arkansas System: Division of agricultura. Agricultura y Recursos Naturales. pp.4
- Ferrás, Y., Márquez, J. J., Aguirre, M. B., Bustamante, C. A., y González, C. (2017). Influencia de las temperaturas y precipitaciones en el desarrollo de índices morfológicos del cacao en Jibacoa1. *Café Cacao*, 16(1), 15-21.
- García García, L. A. (2020). Caracterización morfológica en las zonas de producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) tipo Nacional en el cantón Babahoyo provincia de Los Ríos, Ecuador (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB, 2020).
- García, A. (1993). Sintomatología de las deficiencias nutricionales en cacao (*Theobroma cacao* L.). Sección Investigación Básica Agrícola ICA-CI. Palmira. 19p.
- Grasso, A., Días, M. (2020). Manual de buenas prácticas de manejo de fertilización. Segunda edición. Ciudad Autónoma de Buenos Aires Argentina. 59p.
- Guerrero, B. (2020). Compilación de Técnicas para el Análisis Bromatológico. Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Guilcapi M. (2018). Análisis del estado actual de las cadenas de café y cacao. PRODUCTO 2: CACAO. Recuperado en: https://procurementnotices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=186105.
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario), 2012. Manejo fitosanitario del cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.)- Medidas para la temporada invernal. Bogotá, Colombia: Camilo Ernesto Vásquez González. 41p.
- IFA (Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes), 2002. Los fertilizantes y su uso. Cuarta edición. 632p.
- Iglesias, J.. (2016). Lámina Foliar. febrero 13, 2022, de SlideShare Sitio web: <https://es.slideshare.net/JoelGarciaIglesias/lamina-foliar-choto->

- México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, vol. 11, Núm. 4, abril. 2018. pp. 55-60
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería), 2018. Rendimiento de Cacao Almendra Seca (*Theobroma cacao*) en el Ecuador 2017. Recuperado en: <https://fliphtml5.com/ijia/zmnj/basic#:~:text=RENDIMIENTOS%20DE%20CACAO%20ALMENDRA%20SECA,para%20la%20variedad%20CCN-51>.
- Mantilla, A., Cardona, G., Peña, C., Murcia, U., Rodríguez, M., Zambrano, M. (2009). Distribución de bacterias potencialmente fijadoras de nitrógeno y su relación con parámetros fisicoquímicos en suelos con tres coberturas vegetales en el sur de la Amazonia colombiana. *Revista De Biología Tropical*, 57(4),915-927.
- Manzano, P., Miranda, M., Gutiérrez, Y., Santos, E., Scull, R. (2014). Estudio morfo-anatómico e identificación genética de *Vernonanthura patens* (Kunth) H. Rob. *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*, 2 (5), 119-128.
- Meter A., Atkinson, R., Laliberte, B. (2019). Cadmio en el cacao de América Latina y el Caribe – Análisis de la investigación y soluciones potenciales para la mitigación. *Bioersity International*, Roma, octubre 2019.
- Morán, M., Molina, V., Pérez, A. (2017). Influencia del boro en la floración y rendimiento del cacao variedad CCN-51 en la zona de Mata de Cacao. *Revista FADMI*,1(1), 36-49.
- Naizaque, J., García, G., Fischer, G., y Melgarejo, L. (2014). Relación entre la densidad estomática, la transpiración y las condiciones ambientales en feijoa (*Acca sellowiana* [O.BERG] BURRET) *Revista de U.D.C.A.* vol. 17, no. 1, pp. 115-121, ISSN: 0123-4226.
- Niemenak, N., Cilas, C., Rohsius, C., Bleiholder, H., Meier, U., & Lieberei, R. (2009). Phenological growth stages of cacao plants (*Theobroma* sp.): codification and description according to the BBCH scale. *Annals of Applied Biology*, 156(1), 13–24. doi:10.1111/j.1744-7348.2009.00356.x
- Nughes, L., Colares, M., Hernández, M. y Arambarril, A. (2013). Morfo-anatomía de las hojas de *Celtis ehrenbergiana* (celtidaceae) desarrolladas bajo condiciones naturales de sol y sombra. *Bonplandia*, vol. 22, no.2, pp. 159-170, ISSN: 0524-0476.

- Palacios, B., Aguirre, Z., Lozano, D. (2015). Experiencias de enriquecimiento forestal en bosque secundario en la microcuenca "El Padmi", Zamora Chinchipe Ecuador. Revista CEDAMAZ, 5(1), 4- 113.
- Paramo, Y. J. P., Flores, J. C. M., Carabali, A. G., y Hernandez, F. A. (2014). Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento. Acta Agronómica, 63(2), 145-152.
- Paramo, Y. J. P., Flores, J. C. M., J. C., y Hernandez, F. A. (2016). Concentración de nutrientes en hojas, una herramienta para el diagnóstico nutricional en cacao. Agronomía Mesoamericana, 27(2), 329-336.
- Patrick, F. (1985). Suelos en formación, clasificación y distribución. Editorial Continental S. A.
- Pinzón, J., Rojas, J., Rojas, F., Ramírez, O., Moreno, F., Castro, G. (2012). Guía Técnica para el cultivo del cacao: Origen y reseña histórica del cacao. Quinta edición. Colombia. 189p.
- Puentes, Y., Gómez, A., Menjivar J. (2016). Influencia de las relaciones entre nutrientes sobre el rendimiento en clones de cacao (*Theobroma cacao* L.). Acta Agronómica, 65(2), 176-182.
- 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 Agronómica. Volumen 63(2), 145-152.
- Puentes, Y., Menjivar, J., Aranzazu, F. (2016). Concentración de Nutrientes en Hojas, una Herramienta para el Diagnóstico Nutricional en Cacao. Agronomía Mesoamericana, 27(2), 329-336.
- Puentes, Y., Menjivar, J., Ortíz, A. (2016). Eficiencia fisiológica de uso de NPK en clones autoincompatible y autocompatible de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental. Volumen 7(1), 17-24.
- Quiroz, J. y Mestanza, S. (2012). Establecimiento y Manejo de una Plantación de Cacao. Recuperado en: http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/12/boletin_146_establecimiento_y_manejo_de_una_plantacion_de_cacao.pdf

- Recalde, M., Carrillo, M., Sánchez, J., Moreno, R. (2012). Manejo de la Nutrición del Cultivo de Cacao en la Región de Santo Domingo – Etapa De Establecimiento del Huerto. *Revista de Investigación Científica*, 97-104.
- Rodríguez, B., Pino, S., Aguilar, R. (2016). El gran cacao de los pequeños productores. Una mirada al escenario agro socioeconómico de los cacaoteros en la Cordillera Oriental del Ecuador. Publisher: Ediciones Holguín S.A. 96p.
- Rodríguez, M., Flórez, V. (2004). Elementos esenciales y beneficiosos. *Nociones Básicas del Ferti-riego*, 25- 36.
- Rojas, E. (2012). Aspectos para la nutrición del cacao *Theobroma cacao* L. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Rojas, F., y Sacristán, E. (2013). Guía ambiental para el cultivo del cacao. Segunda edición. Colombia. 126p.
- Ruales, J., Burbano, H., Ballesteros, W. (2011). Efecto de la Fertilización con Diversas Fuentes Sobre el Rendimiento de Cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista de Ciencias Agrícolas*. 2 : 81-94.
- Ruiz, S., Ruiz, J., Hernández, J., Gracia, R., Valadez, A. (2019). Extracción y cuantificación de clorofila en hojas comestibles del estado de Tabasco. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 4: 891- 896.
- Sánchez, R., Palma, D., Obrador, J., y López, U. (2003). Efectos de los rastrojos sobre las propiedades físicas y químicas de un suelo vertisol y rendimientos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en Tabasco, México. *Interciencia* 28 (7): 404-407.
- Sánchez, V., Iglesias, C., Zambrano L. (2019). Diagnóstico y prospectiva de la cadena de valor del cacao en América Latina y El Caribe. Repositorio digital INIAP.
- Suarez, C., Moreira, M., & Vera, J. (1864). Manual del cultivo de cacao. INIAP, Estación Experimental Tropical Pichilingue. (Manual no. 25).
- Tian, M., Yu, G., He, N., y Hou, J. (2016). Características morfológicas y anatómicas de las hojas de los bosques de coníferas tropicales a templados: mecanismos y factores que influyen. *Scientific Reports* 6: 1-10. <https://doi.org/10.1038/srep19703>.
- UNICA (Universidad en el Campo), 2011. Sistemas de producción vegetal II. Primera edición.

UNL (Universidad Nacional de Loja), 2021. Recuperado en: Proyectos de Investigación.
<https://unl.edu.ec/investigacion/proyecto>.

Vélez Ruiz, J. N. (2018). Evaluación de la respuesta de cacao CCN-51 a plena exposición solar a las aplicaciones de Azufre (S) y Magnesio (Mg) en la zona de Zapotal, Provincia de Los Ríos (Bachelor's thesis, Quevedo-UTEQ).

Venturo, G. (2017). Determinación del contenido de cadmio en almendras frescas de tres variedades de cacao (*Theobroma cacao* L.) y del suelo y su relación con el pH y la conductividad eléctrica en las zonas de Juanjuí y Pucacaca. Repositorio digital de ciencias, tecnología e innovación de acceso abierto. Universidad Nacional de San Martín. Tarapoto, Perú. pp. 56-57

Zambrano, J. (2017). Relaciones filogenéticas entre tipos de cacao (*Theobroma cacao* L.): forastero, trinitario y nacional, basadas en marcadores morfológicos y secuencias nucleotídicas de la región ITS; y su posible uso en la identificación de clones. Previo a la obtención de título de Ingeniero Agropecuario, Quevedo. Los Ríos. Ecuador: Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
<https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/2722/1/T-UTEQ-0088.pdf>

11. ANEXOS

Anexo 1. Análisis de Suelo

MC-LASPA-2201-01

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

INFORME DE ENSAYO No: 21-0234

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

N° muestra	K	Ca	Mg	Na	Suma de bases	Saturación de bases	CIC	Identificación de la muestra
	meq/100 g suelo	(%)	meq/100 g suelo					
Z1-0903	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

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo

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



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: 31/03/2021
 HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 12:45
 FECHA DE ANÁLISIS: 05/04/2021
 FECHA DE EMISIÓN: 09/04/2021
 ANÁLISIS SOLICITADO: 54 + CIC

Análisis	PH	N		P		S		B		K		Ca		Mg		Zn	Cu	Fe	Mn	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	Σ Bases	MO	CO.	Textura (%)				IDENTIFICACIÓN					
		ppm	A	M	ppm	A	M	ppm	A	M	meq/100g	A	M	meq/100g	A	M	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 ³⁺	Na ⁺	C.E. *	N. Total*	N-NO ₃ ⁻	K H ₂ O ⁺	P H ₂ O ⁺	Cl ⁻
Unidad	meq/100g			dS/m	%	ppm	ppm	ppm	ppm

OBSERVACIONES:

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

* Ensayos no solicitados por el cliente

INTERPRETACION		
pH	Elemento	
Ao = Acido	N = Neutro	B = Bajo
LAo = Liger. Acido	LAI = Lige. Alcalino	M = Medio
PN = Prac. Neutro	Al = Alcalino	A = Alto
RC = Requieren Cal	T = Tóxico (Boro)	

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

METODOLOGIA USADA	
C.E. =	Pasta Saturada
M.O. =	Dicromato de Potasion
AlH =	Titulación NaOH

INTERPRETACION		
Al+H,Al y Na	C.E.	M.O y Cl
B = Bajo	N8 = No Salino	S = Salino
M = Medio	L8 = Lig. Salino	M8 = Muy Salino
T = Tóxico		A = Alto

2021/04/09 10:00

Anexo 2. Cálculos de dosis de fertilizantes

Tabla 5. Requerimientos nutricionales del cultivo de cacao CCN-51, basados en el análisis de suelo.

Elemento	Requerimiento		Gramo por aplicación	Fertilizantes a utilizar
	kg ha ⁻¹	g planta ⁻¹		
N	212	296	49.5	Nitrato de CA
P	23	32.2	5.4	DAP (18-46-0)
K	321	449.4	74.9	Muriato de K
Mg	71	99.4	16.6	Nitrato de amonio
Ca	140	196	32.7	Sulfato de Mg

· **Nitrato de calcio: 15 % N; 26 % Ca**

$$\begin{array}{r}
 100 \text{ kg de} \\
 \text{Nitrato de Ca} \\
 x \\
 \mathbf{x = 753.8 \text{ g de Nitrato de calcio}} \\
 100 \text{ kg de} \\
 \text{Nitrato de Ca} \\
 753.8 \text{ kg} \\
 \mathbf{x = 113 07 \text{ g de N}}
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 26 \text{ kg de Ca} \\
 196 \\
 15 \text{ kg de N} \\
 x
 \end{array}$$

· **DAP: 18 % N; 46 % Ca**

$$\begin{array}{r}
 100 \text{ kg de} \\
 \text{DAP} \\
 x \\
 \mathbf{x = 70 \text{ g de DAP}} \\
 100 \text{ kg de} \\
 \text{DAP} \\
 70 \text{ kg de DAP} \\
 \mathbf{x = 12.6 \text{ g de N}}
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 46 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \\
 32.2 \\
 18 \text{ kg de N} \\
 x
 \end{array}$$

· **Muriato de K (KCl): 60 % K**

$$\begin{array}{rcl}
 100 \text{ kg KCl} & 60 \text{ kg de K}_2\text{O} & \\
 x & 449.4 & \\
 \mathbf{x = 749 \text{ g de Muriato de K}} & &
 \end{array}$$

· **Nitrato de amonio: 33 % N**

$$\begin{array}{rcl}
 100 \text{ kg nitrato} & 33 \text{ kg de N} & \\
 \text{de amonio} & & \\
 x & 171 & \\
 \mathbf{x = 518.55 \text{ g de nitrato de}} & & \\
 \mathbf{\text{amonio}} & &
 \end{array}$$

· **Sulfato de Mg: 16 % Mg**

$$\begin{array}{rcl}
 100 \text{ kg sulfato} & 16 \text{ kg de Mg} & \\
 \text{de Mg} & & \\
 x & 99.4 & \\
 \mathbf{x = 621.25 \text{ g de sulfato de Mg}} & &
 \end{array}$$

Tabla 6. Dosis de aplicación por tratamientos en el cultivo de cacao CCN-51

Fertilizante	Tratamiento 2 (100 %)		Tratamiento 3 (200 %)	
	Cantidad total (g)	Cantidad por aplicación (g)	Cantidad total (g)	Cantidad por aplicación (g)
Nitrato de Ca	753.8	126	1507.6	252
DAP (18-46-0)	70	12	140	24
Muriato de K	748	125	1496	250
Nitrato de amonio	518.6	86	1037.2	172
Sulfato de Mg	621.3	104	1242.6	208

Anexo 3. Escala BBCH para cacao



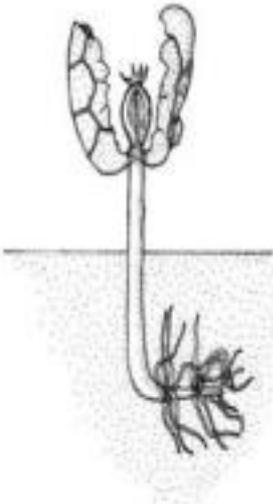
1a BBCH 00



1b BBCH 07



1c BBCH 08



1d BBCH 10



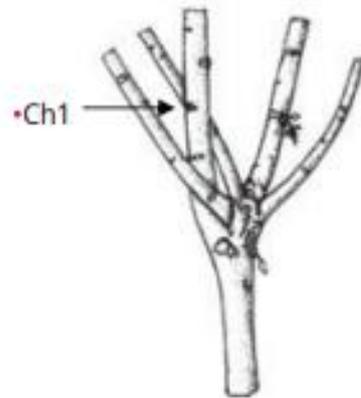
1e BBCH 12



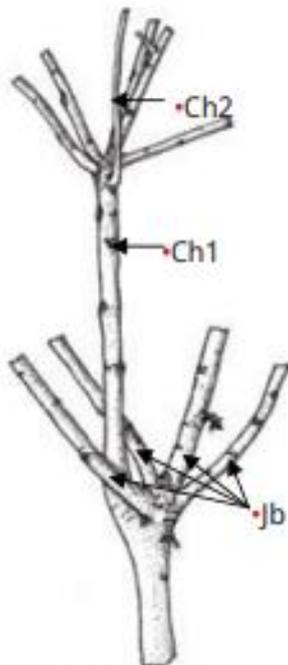
1f BBCH 19/20



2a BBCH 21/201



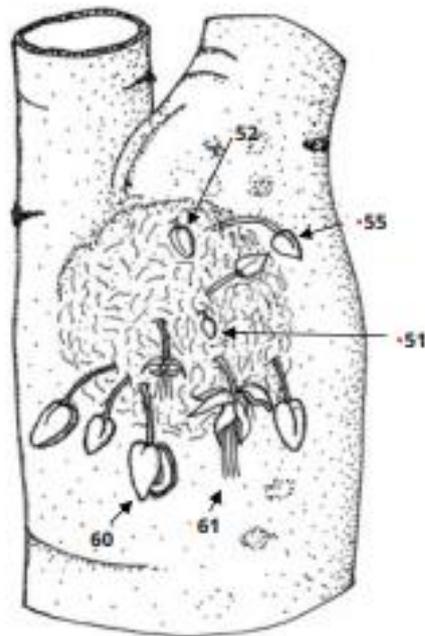
2b BBCH 21/219,
Ch1: primer chupon



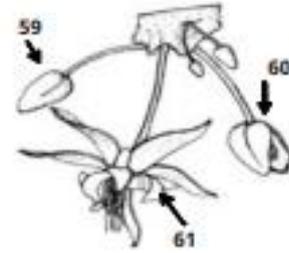
2c BBCH 22/23,
Ch1: primer chupon,
Ch2: segundo chupon,
Jb: Jorquett de fan
sucursales



2d BBCH 31/32



3a BBCH 51-55 / 60-61



3b BBCH 59 / 60-61



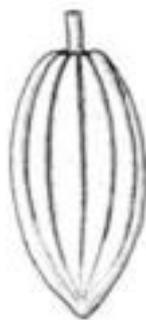
3c BBCH 70



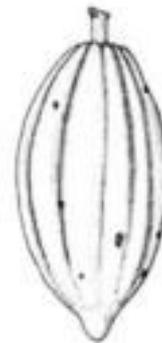
3d bbch 71



3e BBCH 75



3f BBCH 77



3g BBCH 78/81

Anexo 4. Ecuaciones ajustadas para calcular área foliar de cacao CCN-51

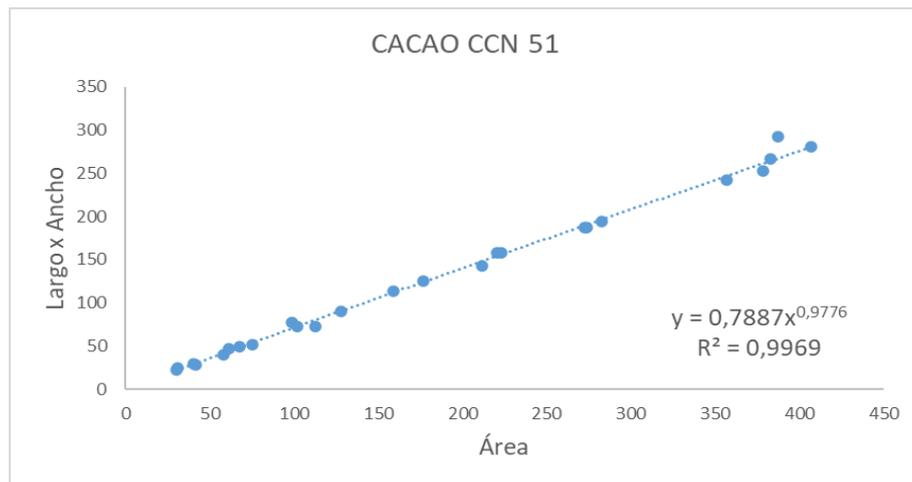


Figura 17. Área foliar descrita por la relación entre el largo y ancho de las hojas de cacao clon CCN 51.

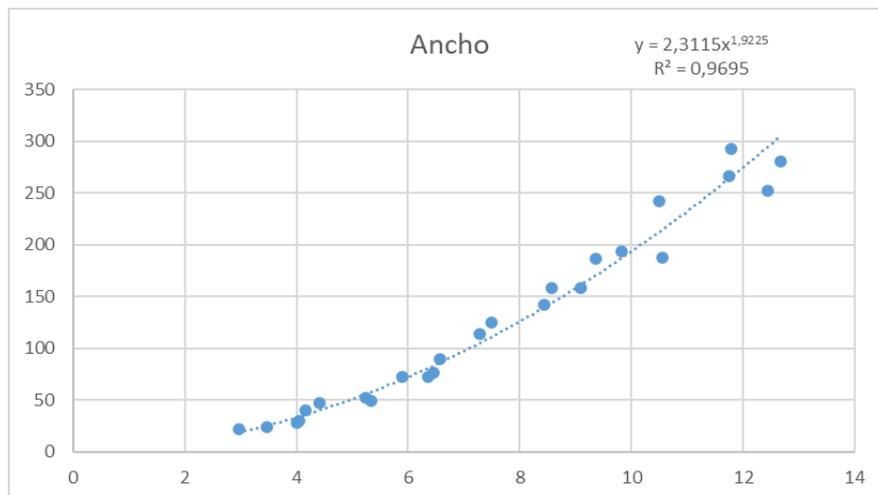


Figura 18. Ecuación ajustada con el ancho de la hoja para determinar el AF del cacao CCN-51.

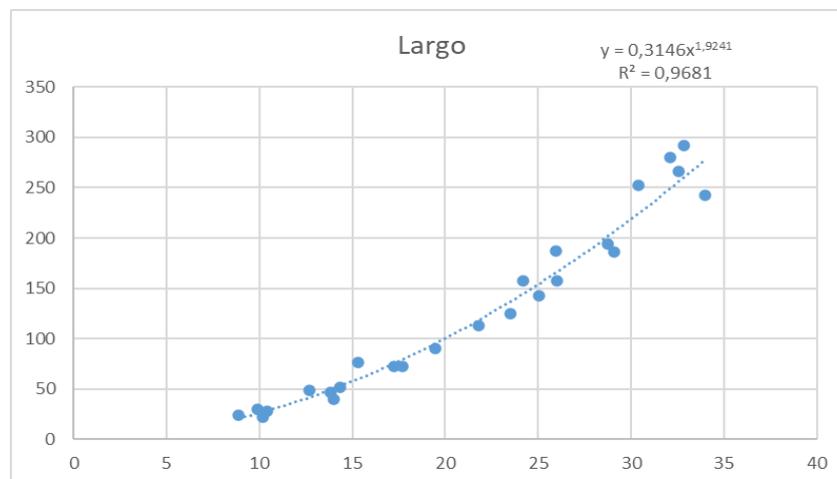


Figura 19. Ecuación ajustada con el largo de la hoja para determinar el AF del cacao CCN-51.

Anexo 5. Certificación de traducción del Abstract

Lic. Gabriela Elizabeth Montaña Ponce

Licenciada en Ciencias de la Educación, mención Idioma Inglés

Certifico:

Que he traducido minuciosamente el Resumen del Trabajo de Titulación titulado: “**Aplicación de tres niveles de fertilización y su influencia en las condiciones químicas del suelo y en el crecimiento vegetativo de cacao (*Theobroma cacao* L.) CLON CCN-51 en el Padmi, Zamora Chinchipe**”, de autoría de la estudiante Jhuliana Elizabeth Romero Ureña, previa a la obtención del título de Ingeniera Agrónoma.

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

Zamora, 12 de abril de 2022



L Lic. Gabriela Elizabeth Montaña Ponce

LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN, MENCIÓN IDIOMA INGLÉS

C.I.: 1106067604

Cel.: 0967023193

Anexo 5. Fotografías del experimento en campo



Figura 21. Plantas de cacao CCN-51.



Figura 21. Establecimiento de los tratamientos.



Figura 23. Toma de datos en campo.



Figura 24. Recolección de muestras y análisis de laboratorio.