



unl

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agronómica

Influencia de tres niveles de fertilización sobre parámetros fisiológicos y productivos del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP-801, sector El Padmi, Zamora Chinchipe.

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

AUTORA:

Marilin Klendy Cumbicus Jiménez

DIRECTORA:

Dra. Marlene Lorena Molina Müller. PhD

Loja - Ecuador

2023

Certificación

Loja, 26 de agosto de 2022

Dra. Marlene Lorena Molina Müller. PhD.

DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Influencia de tres niveles de fertilización sobre parámetros fisiológicos y reproductivos del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP-801, sector El Padmi, Zamora Chinchipe**, previo a la obtención del título de Ingeniera Agrónoma, de la Autoría de la estudiante **Marilin Klendy Cumbicus Jiménez**, con **cédula de identidad** Nro. **1950117810**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Dra. Marlene Lorena Molina Müller. PhD.

DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Marilin Klendy Cumbicus Jiménez**, 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 y 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:



Cédula de Identidad: 1950117810

Fecha: 04/04/2023

Correo electrónico: marilin.cumbicus@unl.edu.ec

Teléfono: 0980810523

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

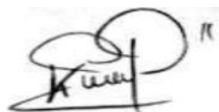
Yo, **Marilin Klendy Cumbicus Jiménez**, declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **Influencia de tres niveles de fertilización sobre parámetros fisiológicos y productivos del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP-801, sector El Padmi, Zamora Chinchipe**, como requisito para optar el Título de **Ingeniera Agrónoma**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

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

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

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

Firma:



Autora: Marilin Klendy Cumbicus Jiménez

Cédula: 1950117810

Dirección: Parroquia Zurmi, cantón Nangaritza, provincia de Zamora Chinchipe

Correo electrónico: marilincumbicus@gmail.com

Teléfono: 0980810523

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Directora de Titulación: Dra. Marlene Lorena Molina Müller, PhD.

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo de investigación a mis padres Eulogio y Alba, por el apoyo moral e incondicional que me han brindado; a mis hermanos Adriana y Bagner por ser la motivación que me impulsa cada día a superarme y a Dios por darme la fortaleza y valor para poder enfrentar los momentos difíciles de mi vida.

Con mucho cariño:

Marilin Klendy Cumbicus Jiménez

Agradecimiento

Agradezco primeramente a Dios por ser quien me guía y protege en el caminar de mi vida, por haberme brindado la sabiduría, paciencia y fortaleza para llegar hasta este momento importante de mi formación profesional.

A mis padres Eulogio y Alba, por confiar en mis expectativas de vida, quienes con su amor, esfuerzo, valentía y motivación me han permitido cumplir un sueño más. A mis hermanos, por ser mi estímulo ya que con sus bonitas palabras me hacen sentir orgullosa de la persona que soy y de lo que les puedo enseñar.

Expreso mi gratitud a la planta docente de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional de Loja, por haberme impartido sus aprendizajes durante estos cinco años de formación académica; agradezco al equipo de docentes que dirigen el macroproyecto de investigación titulado “Efecto de la Radiación fotosintéticamente activa sobre cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Región Sur del Ecuador y sus implicaciones agronómicas” por permitirme formar parte del grupo de investigadores e intercambiar conocimientos y experiencias, mismas que serán de mucho beneficio en mi vida profesional.

Agradezco al Ing. Diego Loaiza encargado de la estación experimental El Padmi y compañeros investigadores por el apoyo y gentileza que mostraron durante la fase de campo; de igual manera a los técnicos del Laboratorio de Suelos y Aguas, Bromatología y Sanidad Vegetal, por la predisposición para apoyarme durante la fase de laboratorio y de manera especial mis sinceros agradecimientos a la Dra. Marlene Molina Müller, por su paciencia y asesoría profesional durante la realización de este trabajo investigativo para lograr culminarlo con éxito.

Marilin Klendy Cumbicus Jiménez

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de Tablas	x
Índice de Figuras	x
Índice de Anexos.....	xi
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	7
4.1. Generalidades del cultivo de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.).....	7
4.2. Morfología del cacao	7
4.2.1. <i>Sistema radicular</i>	7
4.2.2. <i>Tallo</i>	7
4.2.3. <i>Hojas</i>	7
4.2.4. <i>Inflorescencia</i>	7
4.2.5. <i>Flores</i>	8
4.2.6. <i>Fruto</i>	8
4.2.7. <i>Semilla</i>	8
4.3. Fenología del cultivo de cacao.....	8
4.4. Tipos de cacao	9
4.4.1. <i>Cacao del tipo criollo o nativo</i>	10
4.4.2. <i>Cacao del tipo forastero</i>	10
4.4.3. <i>Cacao del tipo trinitario</i>	10

4.4.4. <i>Cacao Nacional de Ecuador</i>	10
4.5. Clones de cacao de Ecuador	11
4.5.1. <i>Clon INIAP-EETP- 800 “Aroma Pichilingue”</i>	11
4.5.2. <i>Clon INIAP-EETP- 801 “Fino Pichilingue”</i>	11
4.6. Condiciones climáticas	11
4.6.1. <i>Altitud</i>	11
4.6.2. <i>Temperatura</i>	12
4.6.3. <i>Precipitación</i>	12
4.6.4. <i>Luminosidad</i>	12
4.6.5. <i>Vientos</i>	12
4.6.6. <i>Suelo</i>	12
4.6.7. <i>Humedad relativa</i>	13
4.7. Nutrición mineral del cultivo de cacao	13
4.7.1. <i>Respuesta a la aplicación de Nitrógeno</i>	13
4.7.2. <i>Respuesta a la aplicación de Fósforo</i>	14
4.7.3. <i>Respuesta a la aplicación de Potasio</i>	14
4.7.4. <i>Respuesta a la aplicación de Calcio</i>	14
4.7.5. <i>Respuesta a la aplicación de Magnesio</i>	14
4.7.6. <i>Respuesta a la aplicación de Boro</i>	14
4.8. Respuesta fisiológica y fertilización del cacao	15
5. Metodología	16
5.1. Ubicación del estudio.....	16
5.2. Diseño Experimental y tratamientos	16
5.3. Metodología general del ensayo	17
5.4. Metodología para el primer objetivo.....	18
5.5. Metodología para el segundo objetivo	20
5.6. Análisis de pH y conductividad eléctrica del suelo	21
5.7. Análisis Estadístico.....	21
6. Resultados.....	22
6.1. Área de la sección transversal del tronco (ASTT).....	22
6.2. Diámetro de la copa	23
6.3. Índice de área foliar (IAF)	24
6.4. Concentración de clorofila.....	25

6.5. Densidad estomática	26
6.6. Fenología del cultivo y porcentaje de plantas en etapa productiva	27
6.7. pH del suelo	28
6.8. Conductividad eléctrica del suelo	29
6.9. Correlaciones entre variables	30
7. Discusión	31
8. Conclusiones	37
9. Recomendaciones	38
10. Bibliografía	39
11. Anexos	50

Índice de Tablas:

Tabla 1. Principales etapas de crecimiento reproductivo 5 – 8 del cultivo de cacao, según la escala BBCH modificada	9
Tabla 2. Descripción de los tratamientos establecidos en el ensayo.....	17
Tabla 3. Dosis de fertilizantes aplicados para cada tratamiento en el cultivo de cacao clon EETP-801	18
Tabla 4. Área de la sección transversal del tronco y tasa de crecimiento absoluto en vareta y portainjerto del cultivo de cacao EETP-801 a los 0 y 100 días después del tratamiento.....	23
Tabla 5. Incremento y tasa de crecimiento absoluto del diámetro de copa de las plantas de cacao EETP-801	24
Tabla 6. Número de hojas, longitud de hoja, área foliar e índice de área foliar de las plantas de cacao EETP-801	25
Tabla 7. Medias del contenido de clorofila (a, b y total) en hojas de cacao EETP-801	26
Tabla 8. Densidad de estomas, células epidérmicas e índice estomático en hojas de cacao EETP-801	27
Tabla 9. Conductividad eléctrica del suelo bajo tres niveles de fertilización: 0 %, 100 % y 200 %, en el cultivo de cacao EETP-801	29
Tabla 10. Correlación entre variables fisiológicas evaluadas en cacao clon EETP-801	30

Índice de Figuras:

Figura 1. Mapa de ubicación geográfica del área de estudio.....	16
Figura 2. Esquema del establecimiento de los tratamientos en campo: T1= 0 %, T2= 100 %, T3= 200 %	17
Figura 3. Área de la sección transversal del tronco en A) Vareta y B) Portainjerto del cultivo de cacao clon EETP-801 a los 0 y 100 días después de los tratamientos.....	22
Figura 4. Expresión del crecimiento del diámetro de copa de las plantas de cacao EETP-801	23

Figura 5. Índice de área foliar en plantas de cacao clon EETP-801	25
Figura 6. Concentración de clorofila total en plantas de cacao clon EETP-801	26
Figura 7. Densidad estomática y densidad de células epidérmicas en hojas de cacao clon EETP-801	27
Figura 8. Porcentaje de plantas de cacao EETP-801 en etapa productiva	28
Figura 9. Evolución del pH del suelo bajo tres niveles de fertilización: 0 %, 100 % y 200 %, en el cultivo de cacao EETP-801	29

Índice de Anexos:

Anexo 1. Análisis de suelo	50
Anexo 2. Cálculo de la dosis de corrección de la deficiencia de Boro.....	51
Anexo 3. Estimativo de la cantidad de nutrientes absorbidos por el cultivo de cacao en diferentes estados de desarrollo.....	51
Anexo 4. Cálculo de la cantidad de elementos nutricionales requeridos por el cultivo de cacao en etapa productiva.....	52
Anexo 5. Cálculo de la dosis de fertilizantes para el cultivo de cacao en etapa productiva.	53
Anexo 6. Evidencia fotográfica del ensayo	54
Anexo 7. Certificación de traducción del Abstract.....	56

1. Título

Influencia de tres niveles de fertilización sobre parámetros fisiológicos y productivos del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP-801, sector El Padmi, Zamora Chinchipe

2. Resumen

Ecuador es uno de los principales productores de cacao; sin embargo, los rendimientos son bajos y esto se asocia principalmente a la falta de conocimiento de las prácticas adecuadas de fertilización del cultivo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la influencia de tres niveles de fertilización sobre parámetros fisiológicos y productivos del cultivo de cacao clon EETP-801, mismo que se desarrolló en la estación experimental “El Padmi”, en la provincia de Zamora Chinchipe; y se estableció bajo un diseño completamente al azar, con tres tratamientos (0 %, 100 %, 200 %) y cuatro repeticiones. Las variables estudiadas fueron el área de la sección transversal del tronco, diámetro de copa, fenología del cultivo, índice de área foliar, concentración de clorofila, densidad estomática, porcentaje de plantas en etapa productiva, pH y la conductividad eléctrica. El efecto de los tratamientos sobre las variables dependientes se evaluó mediante ANOVA y prueba de Tukey (0,05). Si bien en la mayoría de las variables no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, cabe destacar que las plantas bajo el tratamiento al 100 % de fertilización presentaron una mejor respuesta en cuanto al índice de área foliar, concentración de clorofila y densidad estomática. El tratamiento al 200 % de fertilización presentó diferencias significativas en cuanto a la conductividad eléctrica del suelo a partir de los 60 días luego de aplicar los tratamientos y además se observó que esta dosis de fertilización retrasó el cambio de la etapa fisiológica a la productiva del cultivo. Los resultados de este trabajo sugieren que la aplicación de dosis de fertilización requeridas (100 %) por el cultivo durante la etapa productiva es importante ya que favorecen su desarrollo, sin embargo, es necesario continuar este estudio para evaluar la influencia sobre variables asociadas al rendimiento.

Palabras claves: *Theobroma cacao* L, fertilización, fisiología, índice de área foliar.

2.1. Abstract

Ecuador is one of the main producers of cocoa; however, the yields are low and this is mainly associated with the lack of knowledge of proper fertilization practices for the crop. The objective of the present work was to evaluate the influence of three levels of fertilization on physiological and productive parameters of cocoa crop clone EETP-801, which was developed in the experimental station “El Padmi” in the province of Zamora Chinchipe; and was established under a Complete Randomized Design, with three treatments (0 %, 100 %, 200 %) and four replications. The variables studied were trunk cross-sectional area, crown diameter, crop phenology, leaf area index, chlorophyll concentration, stomatal density, percentage of plants in the productive stage, soil pH and electrical conductivity. The effect of the treatments on the dependent variables was evaluated by ANOVA and Tukey’s test (0,05). Although no significant differences were found between treatments for most of the variables, it should be noted that plants under the 100 % fertilization treatment showed a better response in terms of leaf area index, chlorophyll concentration and stomatal density. The 200 % fertilization treatment showed significant differences in soil electrical conductivity 60 days after application of the treatments and it was also observed that the application of this dose of fertilization delayed change from the physiological stage to the productive stage of the crop. The results of this work suggest that the application of required fertilization doses (100 %) by the crop during the productive stage is important as it favors its development; however, it is necessary to continue this study to evaluate the influence on variables associated with yield.

Key words: *Theobroma cacao* L, fertilization, physiology, leaf area index.

3. Introducción

El cacao se cultiva en regiones cálidas y húmedas en más de 50 países ubicados en 4 continentes África, América, Asia y Oceanía; donde se produce con fines comerciales, lo que convierte a este cultivo de gran importancia económica, social, ambiental y cultural (Arvelo *et al.*, 2017).

La Organización Internacional del Cacao (ICCO) indica que Ecuador es uno de los principales productores de granos de cacao y ocupa el tercer lugar a nivel mundial. El sector cacaotero contribuye con el 5 % de la población económicamente activa nacional (PEA) y el 15 % de la PEA rural, constituyendo una base fundamental de la economía familiar costera del país, el piedemonte andino y la Amazonía ecuatoriana (Asociación Nacional de Exportadores de Cacao, 2019).

Además, este cultivo posee un gran potencial para generar mayores contribuciones a la balanza comercial, sin embargo, este sector se ha visto deprimido debido a la baja productividad que tienen las plantaciones tradicionales de cacao tipo Nacional (0,4 t/ha); por otro lado, ha experimentado un aumento en la superficie de siembra debido a la adopción del clon CCN-51 (Loor *et al.*, 2018). Ante esta situación desde hace años atrás en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) se había iniciado realizar cruces entre clones de origen nacional con el clon CCN-51, con el objetivo de combinar caracteres de altos niveles de productividad y calidad, dando origen los dos primeros clones EETP-800 AROMA y EETP-801 FINO de alto potencial productivo (2,4 a 3,0 t/ha de cacao seco) (ANECACAO, 2017); sin embargo, esto todavía no se ha podido evidenciar y documentar adecuadamente en varias zonas del país, ya que las pruebas experimentales solo se han realizado en las provincias de Los Ríos, Pichincha y Guayas (Loor *et al.*, 2018).

La provincia de Zamora Chinchipe posee 898 ha de cultivo de cacao (Loayza y Zabala, 2018) con rendimientos de 1,55 t/ha de cacao Nacional y 0,66 t/ha de CCN-51, siendo más bajos que los de otras provincias, comparando con la provincia del Carchi que produce rendimientos de 2,71 t/ha (Sánchez *et al.*, 2019).

La nutrición en el cultivo de cacao es un factor muy importante para que se desarrolle fisiológicamente y crezca de manera óptima, alcanzando los niveles de producción esperados conforme a la edad y la variedad sembrada. La presencia de elementos nutricionales presentes en el suelo necesarios para las plantas, pueden llegar a variar debido a que éste es un organismo

en constante evolución, ocasionado por las condiciones cambiantes del clima, la meteorización de los materiales de origen y los organismos que lo habitan (Valenzuela, 2021.)

La falta de conocimiento de las prácticas adecuadas de fertilización del cultivo es una razón de los bajos rendimientos del cacao en nuestro país, además la investigación sobre este tema ha sido relativamente escasa, los conocimientos adquiridos La falta de conocimiento de las prácticas adecuadas de fertilización del cultivo es una razón de los bajos rendimientos del cacao en nuestro país en los diferentes países, aunque valiosos son insuficientes para dar una comprensión clara de las necesidades nutritivas del árbol de cacao (Ruales *et al.*, 2011); en los estudios realizados no siempre está clara la cantidad de nutrientes que se aplican y en qué forma, no se tiene en cuenta la fertilidad inicial del suelo y los ensayos han sido realizados en condiciones óptimas del cultivo (Van Vliet, Slingerland y Giller, 2015).

En la provincia de Zamora Chinchipe el 14,8 % de los productores de cacao realizan fertilización inorgánica (Ramírez, 2009); debido a que los suelos de la Amazonía poseen baja fertilidad, son ácidos con gran contenido de metales pesados y un alto porcentaje de materia orgánica de mala calidad (Martín y Pérez, 2009). Por otro lado, los servicios de extensión para la nutrición del cultivo aún recomiendan el uso de fórmulas únicas, que no toman en cuenta las variaciones en el suelo, las condiciones ambientales, el balance de nutrientes a partir de las condiciones locales, mismas que provocan el deterioro del suelo por el manejo inadecuado, así como también en algunos de los casos incrementos en los costos de producción, debido a que se realiza la fertilización sin un previo análisis de suelo, afectando de esta manera la economía del productor (Sánchez *et al.*, 2005).

Con los antecedentes mencionados, se ejecutó la presente investigación que propone generar conocimiento técnico-científico en cuanto a la influencia de tres niveles de fertilización sobre el desarrollo morfofisiológico durante la etapa productiva del cultivo de cacao clon EETP-801, para así orientar de mejor manera las recomendaciones de fertilización en esta zona, mismas que serán muy valiosas para reducir la deficiencia nutricional, costos de producción e incrementar el rendimiento.

Con el propósito de realizar el presente estudio, se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo General.

Evaluar la influencia de tres niveles de fertilización sobre parámetros fisiológicos y productivos del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), clon EETP-801.

Objetivos específicos.

Comparar la influencia de tres niveles de fertilización sobre parámetros fisiológicos durante la fase productiva del cultivo de cacao clon EETP-801.

Analizar el efecto de tres niveles de fertilización sobre parámetros productivos del cultivo de cacao clon EETP-801.

4. Marco teórico

4.1. Generalidades del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.)

El cacao es un típico cultivo perenne, que pertenece a la familia de las *Malvaceae*, subfamilia Sterculioideae. Su centro de origen está situado en el noroeste de América del Sur, en la zona alta amazónica del Ecuador, lo demuestran restos arqueológicos encontrados en el cantón Palanda, provincia de Zamora Chinchipe, (ANECACAO, 2017).

4.2. Morfología del cacao

Según Batista (2009) el árbol del cacao normalmente alcanza una altura entre 6 a 8 m, con excepción del cacao Nacional del Ecuador y del amelonado de África Occidental, los que en ocasiones alcanzan alturas hasta unos 12 m.

4.2.1. Sistema radicular

La raíz principal es pivotante, en los primeros meses de vida de la planta puede crecer entre 120 a 150 cm; en suelos sueltos llega hasta los 200 cm; en los primeros 25 cm de profundidad se encuentra el mayor volumen de raíces secundarias entre 85 a 90 % (Enríquez, 2010).

4.2.2. Tallo

Es glabro o parcialmente pubescente en ejes jóvenes; la corteza es oscura, gris-café y las ramas son de color café finamente vellosas (Doseret *et al.*, 2011). El cacao tiene dos tipos de tallos; el primero ortotrópico (de crecimiento recto, vertical), son las plantas que provienen de semillas y el segundo plagiotrópico (de crecimiento horizontal o lateral), son las plantas producidas por injerto (Isla y Andrade, 2009).

4.2.3. Hojas

Son completamente verdes, de lámina simple, entera, nervadura pinnada, forma que va desde lanceolada a casi ovalada y ambas superficies glabras. Están unidas al tronco o a las ramas mediante los pecíolos, siendo los del tronco más largos que los de las ramas; el nervio central es prominente y el ápice es agudo (Batista, 2009).

4.2.4. Inflorescencia

Las inflorescencias son dicasiales, mismas que se forman directamente en la madera más vieja del tronco y de las ramas adultas del árbol y de manera muy específica en la base de una hoja,

alrededor de la cicatriz y de la yema axilar que queda al caer la hoja; agrupa entre 40 a 60 flores (Enríquez, 2010).

4.2.5. Flores

Son pentámeras, hermafroditas, actinomorfas de 10 a 20 mm de diámetro. Los sépalos son verdosos blancos o rosa claro, los pétalos son un poco más largos que los sépalos, de color amarillento, con dos a tres nervios violetas. Los estambres son 10 y lineares; cinco estambres fértiles se alternan con cinco estaminodios; todos los estambres están fusionados en la base formando un tubo. El ovario es de 2 a 3 mm de largo, anguloso-ovado, ligeramente pentagonal y pentámero. Los óvulos se disponen en dos filas con 6 a 12 óvulos por fila (Dosert *et al.*, 2011).

4.2.6. Fruto

Es una baya de tamaño, color y forma variada, comúnmente denominada "mazorca", su corteza es dura, generalmente oblonga, ovalada o amelonada, de color amarillo o rojo de 15 a 30 cm de largo por 7 a 10 cm de ancho, superficie lisa o rugosa con comisuras longitudinales; cada mazorca contiene entre 30 y 40 semillas dispuestas en placentación axial y cubiertas de una pulpa (CONABIO, 2010).

4.2.7. Semilla

Está constituida por dos cotiledones y un embrión que está protegido por ambos cotiledones. El endosperma es sumamente reducido y toma la forma de una membrana conocida como testa, la cual es delgada y coriácea envuelta en su periferia por una pulpa ácida y azucarada que se llama mucílago. El fruto del cacao puede contener entre 20 a 60 semillas, cuyo tamaño y forma varían según el tipo genético (Batista, 2009).

4.3. Fenología del cultivo de cacao

Según Niemenack *et al.* (2009), el fruto de cacao alcanza la madurez fisiológica a los 150 días después de la floración y se cosecha a los 170 días; además menciona que la fenología de este cultivo empieza con el período de imbibición hasta la emergencia de las plántulas, periodo que toma aproximadamente 25 días; seguido de ello, se presentan las etapas de crecimiento principal, donde ocurre el desarrollo foliar en el brote principal y brotes verticales de la planta, la elongación del tallo principal, formación de horquetas de rama de abanico y chupón, alargamiento de rama abanico, emergencia de inflorescencia, floración, desarrollo y maduración del fruto.

La escala BBCH específica para la planta de cacao basada en los dos dígitos y la descripción de los pasos de desarrollo individuales se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Principales etapas de crecimiento reproductivo 5 – 8 del cultivo de cacao, según la escala BBCH modificada (Bridgemohan et al., 2016)

Etapas de crecimiento	Días	Código	Descripción
Etapas de Aparición de inflorescencia	0-30	52	Botones florales visibles, aparición del primordio sepal (capullo de <1 mm de largo).
		55	Botones florales expandido, sépalos que encierran el capullo (capullo de 1-2 mm de largo).
		56	Botón floral expandido, aparición del pedículo (botón de 2-3 mm de largo).
		58	Botón floral expandido, botón que cambia de verde a blanco (capullo de 2-4 mm de largo).
		59	Botones florales completos (botones de 6 mm de largo y 3 mm de ancho; pedículo de 14 mm), botones cerrados.
Etapas de Floración	30-31	61	Inicio de la floración.
		62	10 % de flores abiertas.
		65	50 % de flores abiertas.
		69	90 % de flores abiertas.
		70	Frutos visibles en el tallo principal o las ramas.
Etapas de Desarrollo del fruto	32-75	71	Comienzo del crecimiento del fruto; multiplicación celular en el endospermo, desarrollo del óvulo y del pericarpio; inicia la fase de marchitamiento de la cherelle; los frutos han alcanzado el 10 % del tamaño final (cigoto inactivo).
		72	División del cigoto y desarrollo preliminar del embrión; los frutos se hinchan; los frutos han alcanzado el 20 % del tamaño final.
		75	Fin de la fase de marchitez de la cherelle. Los frutos han alcanzado el 50 % del tamaño final.
		76	Comienzo de la fase de no marchitamiento; óvulo lleno de gelatina como el endospermo; los frutos han alcanzado el 60 % del tamaño final.
		77	Grasa, proteínas de almacenamiento y antocianinas acumuladas en los cotiledones; el endospermo es gradualmente reabsorbido por el embrión; los frutos han alcanzado el 70% del tamaño final.
Etapas de Maduración de fruto y semilla	75-225	79	Los embriones están completamente desarrollados, sólo quedan rastros de endospermo alrededor de los cotiledones carnosos; el aumento de la dimensión externa de los frutos cesa; los frutos han alcanzado el 90% del tamaño final.
		81	Cambio de color de la fruta verde o rojo a amarillo o naranja.
		85	Aumento de intensidad del color de la fruta
		89	La fruta está completamente madura, adherida al tallo principal o a las ramas y se puede cosechar con cuchillo o alfanje.

4.4. Tipos de cacao

Por su origen y características genéticas, el cacao está clasificado en:

4.4.1. Cacao del tipo criollo o nativo

Paredes (2009) menciona que son árboles relativamente bajos y menos robustos respecto a otras variedades; además se caracteriza por tener mazorcas alargadas de colores verde y rojizo en estado inmaduro, tornándose amarillas y anaranjadas rojizas cuando están maduras.

Por otro lado, Durán y Dubón (2016) afirman que es un cacao reconocido por su fineza de calidad, por su agradable sabor y aroma, ideal para la elaboración de chocolatería fina. El 5 a 10 % de la producción mundial de cacao se origina de las formas criollo (Doseret *et al.*, 2011) y comercialmente se enmarca en los cacaos finos (Paredes, 2009).

4.4.2. Cacao del tipo forastero

Según Batista (2009) se caracteriza por tener mazorcas ovoides o amelonadas; generalmente de color verde con tonos blanquecinos o rosado tenue; las semillas son moradas, triangulares en corte transversal, aplanadas y pequeñas. Los árboles son más vigorosos y de mayor fuste, con un follaje más grande y de color intenso y más tolerante a las enfermedades que las variedades criollas.

Proporcionan el 80 % de la producción mundial, por lo que es el grupo comercialmente más importante del cual se obtiene un chocolate con sabor básico de cacao (Doseret *et al.*, 2011; Paredes, 2009).

4.4.3. Cacao del tipo trinitario

Es el resultado del cruce entre el cacao de tipo criollo de Trinidad y forastero multiplicado en la cuenca del río Orinoco. Es el cacao que más se cultiva en América y presentan sabor a cacao de medio a alto, usualmente con sabor a frutas y nueces (Paredes, 2009), por esta razón existe mucha demanda de este cacao para la producción de chocolates de alto grado de “sabor” (Alvarado, 2016). Este tipo de cacao abastece del 10 al 15 % de la producción mundial (Doseret *et al.*, 2011)

4.4.4. Cacao Nacional de Ecuador

Posee características semejantes al tipo Forastero; las mazorcas son amelonadas, pero con estrangulaciones en la base y el ápice de la misma, con surcos y lomos poco profundos. El color interno de las almendras es violeta pálido o lila, aunque en algunas ocasiones se observan

semillas blancas. De este tipo de cacao se obtiene uno de los mejores chocolates del mundo, por su sabor y aroma floral, combinado con perfiles de frutas y otros sabores (Paredes, 2009).

4.5. Clones de cacao de Ecuador

Desde hace 21 años en Ecuador se había iniciado cruces entre clones de origen nacional con el clon CCN-51, esto originó dos clones de alto potencial como son: INIAP-EETP- 800 AROMA e INIAP- EETP- 801 FINO (ANECACAO, 2017).

Ambos clones inician su etapa reproductiva a los 14 meses después de la siembra, lo que demuestra su precocidad; son tolerantes a escoba de bruja (*Monillioptera perniciososa*), moniliasis (*Mollioptera rozeri*) y mal de machete (*Ceratocystis fimbriata*) (Loor *et al.*, 2018).

4.5.1. Clon INIAP-EETP- 800 “Aroma Pichilingue”

Según ANECACAO (2017) el clon morfológicamente entre 65 a 70 mazorcas por árbol, pero de menor tamaño. El rendimiento promedio anual de cacao seco por planta es de 2,73 kg y la incidencia de enfermedades es marcadamente menor en relación al cacao CCN-51 y EET-103.

4.5.2. Clon INIAP-EETP- 801 “Fino Pichilingue”

El clon morfológicamente produce de 30 a 35 mazorcas por árbol, pero de mayor tamaño. El rendimiento promedio anual de cacao seco por planta es de 2,19 kg, superior al cacao CCN-51 y EET-103 (ANECACAO , 2017)

4.6. Condiciones climáticas

Según López *et al.* (2015) el ambiente ideal para la producción de este cultivo debe ser muy similar al de su entorno natural, donde factores como la temperatura, precipitación, la intensidad lumínica y humedad relativa se asemejen a un bosque tropical; cualquier variación en los factores antes mencionados, pueden repercutir directamente en las etapas de crecimiento y desarrollo del cultivo.

4.6.1. Altitud

Se cultiva casi desde el nivel del mar y hasta los 1200 msnm, siendo el óptimo de 300 a 400 msnm y de 600 a 800 m.s.n.m. (López y Mendoza, 2011).

4.6.2. Temperatura

Batista (2009) menciona que la temperatura ideal promedio al año es entre 24 a 25 °C donde las flores se forman de manera normal y abundante, ya que cuando la temperatura es menor a 21 °C, casi no hay formación de flores (Quiroz, 2010).

4.6.3. Precipitación

Varas (2016) afirma que la precipitación es una de las condiciones más importantes debido a que el cacao es poco tolerante al estrés por falta de humedad. Su distribución debe ser adecuada y durante todo el año con un mínimo de 100 mm/mes y 1 200 a 2 800 mm/año de precipitación, pasados estos valores el suelo debe tener un buen drenaje para evitar inundaciones.

4.6.4. Luminosidad

La intensidad de la luz es otro factor determinante en el cultivo del cacao, especialmente porque influye en los procesos fotosintéticos. En etapas de establecimiento del cultivo se recomienda la siembra de otras plantas para proporcionar sombra, ya que, las plantas en esta etapa son muy susceptibles a la acción directa de los rayos solares (ANECACAO, 2017). La luminosidad debe sobrepasar el 50 % del total de luz que recibe el cultivo para aumentar considerablemente la producción de cacao, debido a que si es menor a ésta la productividad se verá limitada (Ramírez, 2008).

4.6.5. Vientos

Vientos continuos pueden provocar un desecamiento, muerte y caída de las hojas. Por ello en las zonas costeras es preciso el empleo de cortavientos para que el cacao no sufra daños. Los cortavientos suelen estar formados por distintas especies arbóreas (frutales o madereras) que se disponen alrededor de los árboles de cacao (Anacafé, 2004).

4.6.6. Suelo

El cacao requiere suelos muy ricos en materia orgánica, profundos (0.8 y 1.5 m) de textura mediana (franco, franco-arcilloso, franco-arenoso), con buen drenaje y topografía regular (Anacafé, 2004). Además, requiere suelos bien estructurados con porosidad de 10 a 66 %, con buena retención de humedad; un pH de 5 a 7,5 y un contenido de materia orgánica mayor a 3 %, con una relación carbono/nitrógeno (C/N) de 9 como mínimo (Dosert *et al.*, 2011). La capacidad de intercambio catiónico debe ser superior a 12 meq por 100 g de suelo, fertilidad

media a alta, con un contenido de boro y calcio que supere las 0.2 ppm, magnesio y potasio mayor a 2 y 0.24 meq por 100 g de suelo, respectivamente y la saturación de bases debe ser mayor a 35 % (Arvelo *et al.*, 2017).

4.6.7. Humedad relativa

El cacao requiere de humedad relativa anual promedio de 70 a 80 % (López y Mendoza, 2011). La humedad es un factor determinante para la propagación de algunas enfermedades, principalmente de patógenos que afectan a la mazorca (Duarte *et al.*, 2019).

4.7. Nutrición mineral del cultivo de cacao

El cultivo de cacao tiene necesidades nutricionales de acuerdo con su estado de desarrollo, ya sea en crecimiento, floración y producción. La extracción de nutrientes aumenta rápidamente durante los primeros cinco años después de la siembra y luego de 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 del nitrógeno (N), calcio (Ca) y magnesio (Mg) (Wessel, 1980).

El manejo de la fertilización es un aspecto importante para el desarrollo de los cultivos ya que un excesivo aporte de nutrientes puede sobrepasar la capacidad de absorción de la planta y generar un riesgo ambiental, como también, pérdidas económicas para los agricultores (Puentes *et al.*, 2014). Antes de iniciar cualquier tipo de fertilización es preciso conocer el nivel de fertilidad natural del suelo, este diagnóstico se realiza por medio de un análisis de suelo y análisis foliar (López y Mendoza 2011).

4.7.1. Respuesta a la aplicación de Nitrógeno

El nitrógeno estimula el enrojecimiento de las hojas, lo que aumenta el área foliar y la formación del dosel; además, estimula el crecimiento de las plántulas jóvenes y la formación de horquetas (Van Vliet, Slingerland y Giller, 2015).

Al proporcionarse un suministro adecuado de N a las plantas favorece el crecimiento de la raíz, la longitud del tallo, y la lámina foliar de la planta; por el contrario, cantidades excesivas pueden prolongar la etapa fisiológica y retardar la madurez (Tisdale y Nelson, 1991); además, influye en la floración y fructificación, por lo tanto, en el rendimiento del cultivo (Mengel y Kirkby, 2001).

4.7.2. Respuesta a la aplicación de Fósforo

Según Snoeck *et al.* (2010) es probable que la fertilización con fósforo aumente el crecimiento y rendimiento del cacao; además este elemento interviene en la transferencia de energía, es esencial para la fotosíntesis y para la diferenciación de las células y desarrollo de los tejidos que forman los puntos de crecimiento de la planta (FAO, 2002).

4.7.3. Respuesta a la aplicación de Potasio

Es esencial para la translocación de carbohidratos y proteínas (Van Vliet, Slingerland y Giller, 2015); este elemento mejora el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a sequías, heladas y salinidad. Las plantas bien provistas de K sufren menos enfermedades (FAO, 2012).

Una planta con deficiencia de potasio se caracteriza por el amarillamiento del borde de las hojas hacia adentro, frutos sin un llenado adecuado, sin sabor, y entrenudos cortos (Valenzuela, 2021).

4.7.4. Respuesta a la aplicación de Calcio

Es importante para el crecimiento de las raíces y como constituyente del tejido celular de las membranas (FAO, 2002). También ayuda a activar ciertas enzimas y enviar señales que coordinan ciertas actividades celulares; cuando hay deficiencia de calcio las puntas de las raíces, hojas jóvenes y puntas de los brotes presentan un crecimiento distorsionado debido a la formación incorrecta de la pared celular (Paspuel, 2018).

4.7.5. Respuesta a la aplicación de Magnesio

Interviene en varias funciones vitales para la planta como la formación de clorofila, síntesis de proteínas, asimilación y partición de los productos de la fotosíntesis (Cakmak y Yazici, 2010). Además, favorece la retención de hojas y retrasa la senescencia de las mismas (Van Vliet, Slingerland y Giller, 2015).

4.7.6. Respuesta a la aplicación de Boro

Alarcón (2001) menciona que el boro desempeña un papel fundamental en la polinización y cuajado de los frutos; mejora el tamaño y fertilidad de granos de polen y tiene un papel importante en la germinación del polen y el crecimiento de los tubos polínicos. Además, facilita la resistencia a un gran número de enfermedades fúngicas, bacterianas, algunas virosis e insectos.

4.8. Respuesta fisiológica y fertilización del cacao

Oyewole *et al.* (2012) encontraron que la fertilización tanto orgánica como mineral equilibrada favorece los procesos iniciales de desarrollo de las plantas de cacao e incrementan significativamente los niveles de productividad.

Carrillo, Recalde y Sánchez (2010) mencionan que la fertilización balanceada juega un papel primordial en la fisiología y arquitectura de la planta de cacao; determinaron que el nitrógeno (N), fósforo (P) y el potasio (K) juegan un papel importante para el crecimiento de las plantas de cacao ya que observaron que, en los tratamientos fertilizados, las plantas presentan mayor incremento de diámetro y altura que en los no fertilizados.

Ruales *et al.* (2010), menciona que el cultivo de cacao responde en forma positiva a la aplicación de fertilizantes compuestos y que los mayores rendimientos se obtienen con la aplicación de los tratamientos 1 (1150 g/planta/año) y 2 (575 g/planta/año), en referencia al tratamiento testigo (400 g/planta/año), haciéndose evidente la necesidad de fertilización de este cultivo. Además, Puentes *et al.* (2014), reporta que el mayor rendimiento de los clones de cacao se produce con las dosis más bajas de fertilizante T1 (25 %) y T2 (50 %), mientras que los menores rendimientos se presentaron en el tratamiento control (0%) y en T4 (100%).

Por otro lado, Sánchez *et al.* (2005), menciona que en su estudio no detectó el efecto del fertilizante NPK sobre las plantas de cacao, concluyendo que diversos factores, entre los cuales probablemente participe la alta variabilidad existente en las plantaciones de cacao, así como la presencia de un alto nivel freático estacional, habrían influido en la escasa respuesta de las plantas a la fertilización con NPK.

5. Metodología

5.1. Ubicación del estudio

El estudio se desarrolló en la estación experimental “El Padmi” de la Universidad Nacional de Loja, ubicada en la parroquia Los Encuentros, del cantón Yantzaza, provincia de Zamora Chinchipe (Palacios *et al.*, 2015). Situada geográficamente a 3° 45’ 27” de Latitud Sur y a 78° 38’ 22” de Longitud Oeste, a una altitud que va desde los 775 y 1150 m.s.n.m. (Figura 1) (Aguirre *et al.*, 2013), con precipitación media anual de 1978 mm, clima semicálido húmedo, temperatura media de 23 ° C y suelos jóvenes del grupo entisoles e inceptisoles. El área de estudio pertenece a la zona de vida bosque muy húmedo tropical (Lozano *et al.*, 2018).

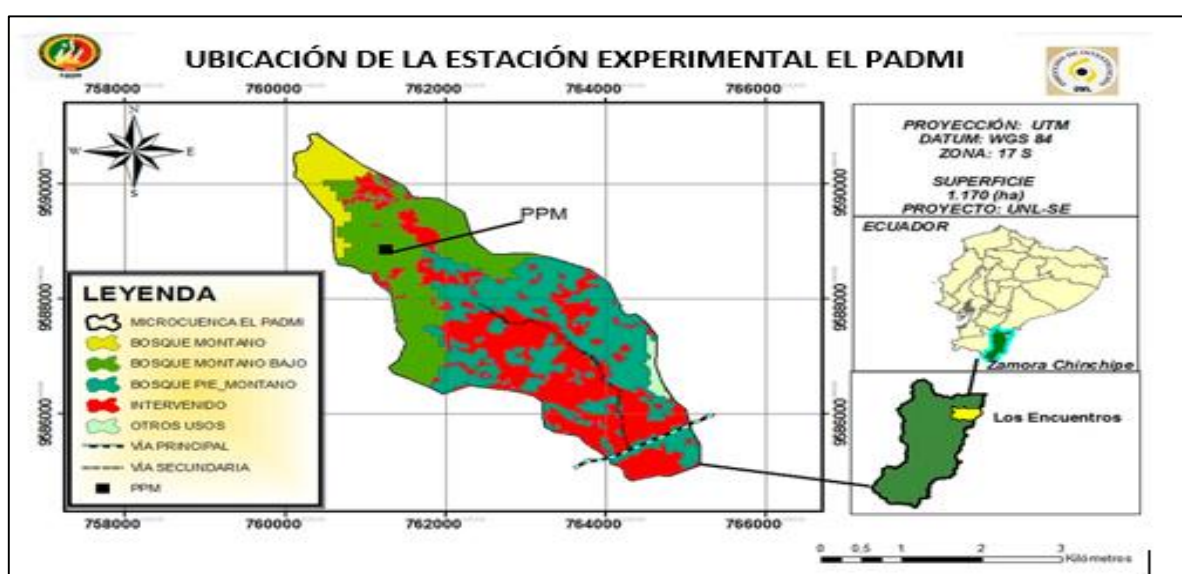


Figura 1. Mapa de ubicación geográfica del área de estudio (Lozano et al., 2018)

5.2. Diseño Experimental y tratamientos

El ensayo fue establecido bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA), con 3 tratamientos (Tabla 2) y 4 repeticiones, siendo la unidad experimental un árbol de cacao, con un total de 12 unidades experimentales (UE). El modelo matemático empleado para este ensayo se detalla a continuación:

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

- γ_{ij} = Variable respuesta
- μ = Media global de la variable respuesta
- τ_i = Efecto del tratamiento (i; 1, 2, 3)

- ϵ_{ij} = Error experimental.

Tabla 2. Descripción de los tratamientos establecidos en el ensayo

Tratamiento	Fertilización (%)
T1	0 %
T2	100 %
T3	200 %

La distribución de los tratamientos en campo se muestra en la Figura 2.

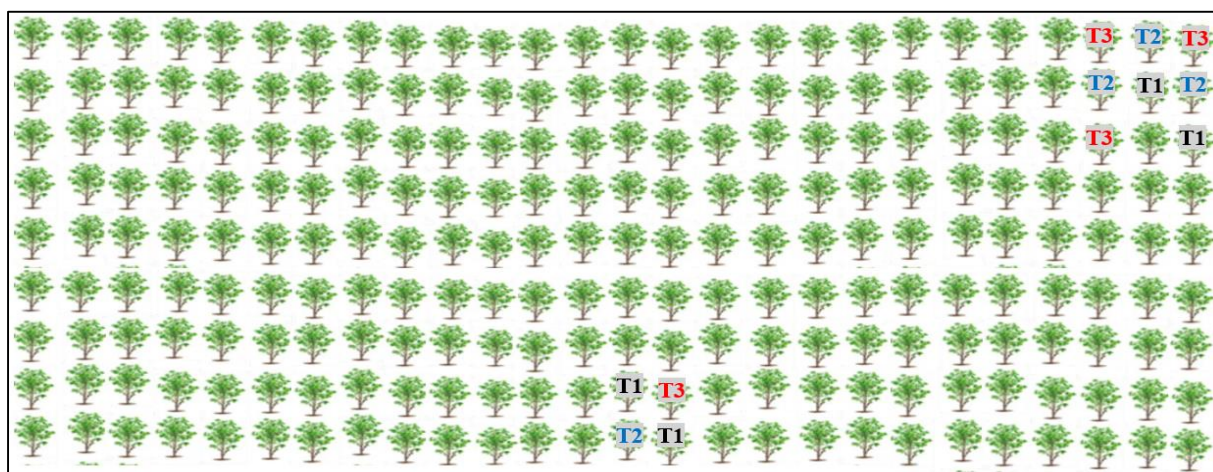


Figura 2. Esquema del establecimiento de los tratamientos en campo: T1= 0 %, T2= 100 %, T3= 200 %. (Elaborado por el autor)

5.3. Metodología general del ensayo

El ensayo se llevó a cabo mediante una fase de campo y de laboratorio. Durante la fase de campo, se realizó el análisis de suelo utilizando la metodología de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGROCALIDAD, 2018) para ello se tomó 8 submuestras en zig – zag en todo el terreno, posteriormente se mezclaron, eliminaron piedras y a través del método de los cuartos opuestos se obtuvo una muestra representativa de 1,5 kg, que fue enviada al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas de la Estación Experimental “Santa Catalina”, del INIAP para el análisis físico y químico del suelo (Anexo 1).

Además, se llevó el registro de datos de las variables fisiológicas y productivas, para ello se utilizaron 12 plantas de cacao clon EETP-801 de 2,5 años, mismas que se encontraban establecidas bajo la densidad comercial de 713,3 plantas/ha (3,5 m x 4 m), todas recibieron las mismas prácticas culturales, manejo de plagas y enfermedades acorde a sus necesidades, con el fin de controlar las posibles fuentes de variación.

Para la aplicación de los tratamientos, se realizó la interpretación del análisis químico del suelo, en el cuál se determinó que existía deficiencia de Boro (Anexo 2); esto se corrigió al inicio del ensayo aplicando Ácido bórico (Anexo 6, Figura 10).

La dosis de fertilización (Tabla 3) que se aplicó a cada tratamiento, se determinó en función del análisis químico del suelo y la demanda nutricional del cultivo de los elementos N, P, K, Ca y Mg durante la etapa productiva (Anexo 3).

Los fertilizantes fueron aplicados en corona, a 60 cm de distancia desde la base del tallo de las plantas y a 5 cm de profundidad del suelo (Anexo 6, Figura 11), con una periodicidad de 20 días, desde el 11 de noviembre de 2021 hasta el 24 de febrero de 2022.

Tabla 3. Dosis de fertilizantes aplicados para cada tratamiento en el cultivo de cacao clon EETP-801

Tratamiento	Fertilización (%)	Fertilizantes	Dosis g/planta
T1	0%	-	0
		-	0
		-	0
		-	0
T2	100%	DAP (18-46-0)	753
		Nitrato de Calcio	70
		Nitrato de Amonio	749
		Muriato de Potasio	518
T3	200%	DAP (18-46-0)	1506
		Nitrato de Calcio	140
		Nitrato de Amonio	1498
		Muriato de Potasio	1036

La segunda fase se desarrolló en el Laboratorio de Suelos, Aguas, Bromatología y Sanidad Vegetal de la Universidad Nacional de Loja, en el cual se determinó el pH del suelo, conductividad eléctrica (CE), concentración de clorofila y densidad estomática.

5.4. Metodología para el primer objetivo

“Comparar la influencia de tres niveles de fertilización sobre parámetros fisiológicos durante la fase productiva del cultivo de cacao clon EETP-801”

Para el cumplimiento del primer objetivo se evaluó las siguientes variables:

- ✓ **Área transversal del tronco (ASTT):** Se usó la técnica aplicada por Romero *et al.* (2017); que consistió en medir con una cinta métrica la circunferencia del tronco a 5 cm bajo y por encima del punto de unión del injerto; a partir de este dato se calculó ASTT utilizando la siguiente fórmula: $ASTT = C^2 / 4\pi$, donde C = Circunferencia del tronco. Estas mediciones se realizaron al inicio y al final del ensayo.

- ✓ **Diámetro de la copa:** Se proyectó la dirección de las ramas a la superficie del suelo, con un flexómetro se midieron los diámetros en centímetros, en dirección Norte-Sur y Este-Oeste y se obtuvo el promedio, estas mediciones se tomaron cada 20 días (Benítez *et al.*, 2003).
- ✓ **Índice de área foliar:** Se determinó siguiendo la metodología aplicada según Galindo y Clavijo (2007), para ello se seleccionaron 20 hojas por cada unidad experimental (UE), a las cuales con una cinta métrica graduada en centímetros se midió la longitud y se contabilizó el número total de hojas por cada UE. A continuación, se promedió las mediciones de la longitud de las hojas y se multiplicó por el total de hojas de cada planta; seguido de ello se utilizaron estimaciones alométricas cuyo ajuste fue el modelo potencial para el largo de las hojas, lo que permitió obtener el área foliar de la planta mediante la siguiente fórmula:

$$AF = 0.3146X^{1.9241}$$

Finalmente utilizando el área foliar obtenida y una superficie de suelo equivalente a la distancia de siembra (3,5 m x 4 m) se determinó el IAF haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$IAF = \frac{\text{Área foliar}}{\text{Superficie del suelo}}$$

- ✓ **Concentración de clorofila:** Se utilizó el protocolo de análisis de clorofila por Espectrometría (Rodés y Collazo, 2006); para ello se tomaron cuatro hojas por tratamiento ubicadas en el segundo tercio de la planta, a las cuales se lavó, secó y cortó en secciones sin nervadura. Para la extracción de pigmentos se pesó una muestra de 0,5 g de hoja y se introdujo en tubos de ensayo envueltos en papel aluminio con 6 ml de etanol al 90 %, luego se llevaron los tubos a la incubadora por 20 minutos a baño María a 80 °C, para que los pigmentos fotosintéticos salgan y se disuelvan en el solvente. Finalmente se sacaron los restos de las muestras de los tubos, para filtrar y centrifugar.
Según Mckinney (1941), las ondas para medir la cantidad de absorbancia fueron 645 y 663 nm, mientras que para la evaluación de clorofila A (Ca), clorofila B (Cb) y clorofila total (Ctotal) se utilizaron las siguientes fórmulas:

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

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

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

- ✓ **Densidad estomática:** Se tomaron cuatro hojas por tratamiento ubicadas en el segundo tercio de la planta, y se utilizó la técnica de la Impronta descrito por Barrientos (2003), que consistió en aplicar una fina capa de esmalte transparente en un área pequeña (50 mm²) en la superficie abaxial de la hoja. Luego de aproximadamente 2 minutos cuando el esmalte estaba seco, la capa formada se removió y colocó en un portaobjetos obteniendo una impresión epidérmica de la hoja. Las impresiones se observaron bajo el microscopio OLYMPUS CX31 con el objetivo 10X y mediante el uso del programa Micro Cam Ver 5.7 se procedió a fotografiar 6 campos por muestra. Finalmente, para el conteo de estomas se procedió a marcar en cada fotografía un área de 120 000 μm², siendo ésta el área de conteo, el dato final se expresó en número de estomas por mm².

Con los datos obtenidos se determinó el índice estomático utilizando la siguiente fórmula:

$$IE = \frac{Es}{\frac{Es}{Es + Ep} * 100}$$

Donde:

IE = Índice estomático

Es = Número de estomas

Ep= Número de células epidérmicas

5.5. Metodología para el segundo objetivo

“Analizar la influencia de tres niveles de fertilización sobre parámetros productivos del cultivo de cacao clon EETP-801”.

Para el cumplimiento del segundo objetivo se evaluó la siguiente variable:

- ✓ **Fenología del cultivo y porcentaje de plantas en etapa productiva:** Cada 20 días se llevó un registro de los cambios fenológicos en etapa productiva que presentaron las plantas de cada tratamiento, el mismo contenía las características descritas de la escala BBCH del cultivo de cacao reportadas por Bridgemohan *et al.* (2016), para observar en qué estadio de desarrollo se encontraban y al finalizar el ensayo se contabilizó el número de plantas en etapa productiva de cada uno de los tratamientos y se lo expresó en porcentaje.

5.6. Análisis de pH y conductividad eléctrica del suelo

Se evaluaron cada 20 días, para ello antes de aplicar los fertilizantes se tomó una muestra de suelo de 100 a 150 g de cada unidad experimental a 60 cm de distancia desde la base del tallo y a 10 cm de profundidad de suelo; seguido de ello, las muestras fueron secadas al aire libre, luego tamizadas en malla de 2 mm, a continuación, almacenadas en bolsas plásticas con su respectiva identificación y finalmente se enviaron al laboratorio de Suelo, Aguas y Bromatología de la Universidad Nacional de Loja para su análisis.

5.7. Análisis Estadístico

Los datos fueron ingresados al software estadístico Infostat versión 2019, donde se realizó el análisis de normalidad con la prueba de Shapiro-Wilks, el análisis de homogeneidad de varianza mediante prueba de Levene, luego se procedió a realizar un análisis de varianza (ANOVA) al 95 % y donde existieron diferencias significativas se realizaron pruebas de comparación múltiple mediante prueba de Tukey al 95 %. Además, se realizó el análisis de correlación de Pearson al 95 %, para determinar la relación entre las variables cuantitativas evaluadas.

6. Resultados

6.1. Área de la sección transversal del tronco (ASTT)

En la figura 3, se presenta el ASST en la vareta y el portainjerto a los 0 y 100 después de los tratamientos, donde no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$). Sin embargo, a los 100 días el tratamiento de fertilización al 0 %, registró las medias más altas del ASST en la vareta y portainjerto con valores de $69,80 \text{ cm}^2$ y $163,54 \text{ cm}^2$ respectivamente (Tabla 4).

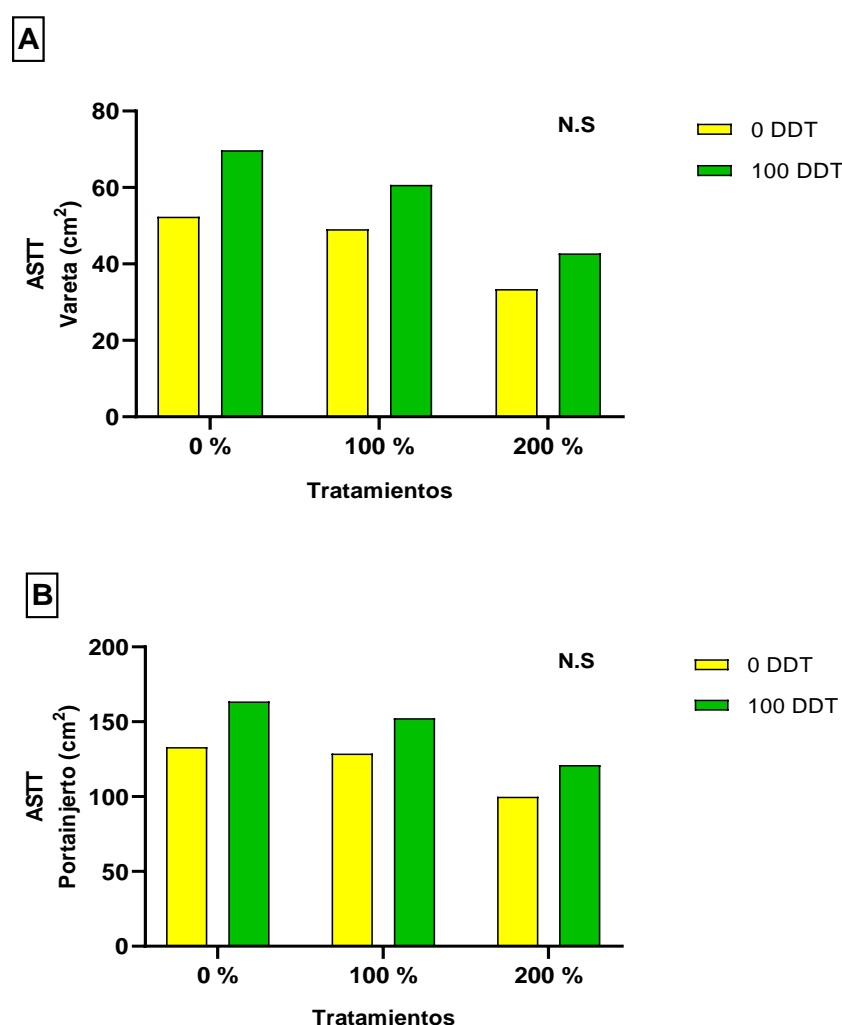


Figura 3. Área de la sección transversal del tronco en A) Vareta y B) Portainjerto del cultivo de cacao clon EETP-801 a los 0 y 100 días después de los tratamientos. N.S: No se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$)

En cuanto a la tasa de crecimiento absoluta igualmente no se encontraron diferencias significativas, tanto para el portainjerto (p -valor = 0,74; $p > 0,05$), como para la vareta (p -valor = 0,62; $p > 0,05$). Sin embargo, el tratamiento al 0 % alcanzó la TCA más alta para el

portainjerto con un valor de 0,29 cm² día⁻¹, seguido del tratamiento al 100 % de fertilización con 0,23 cm² día⁻¹ y el tratamiento al 200 % de fertilización presentó la menor TCA con 0,20 cm² día⁻¹; resultados similares se presentaron en la vareta (Tabla 4).

Tabla 4. Área de la sección transversal del tronco y tasa de crecimiento absoluto en vareta y portainjerto del cultivo de cacao EETP-801 a los 0 y 100 días después del tratamiento

Tratamientos	ASST (cm ²)				TCA (cm ² día ⁻¹)	
	Vareta		Portainjerto		Portainjerto	Vareta
	0 DDT	100 DDT	0 DDT	100 DDT		
0 %	52,39	69,80	133,07	163,54	0,29	0,17
100 %	49,10	60,69	128,81	152,46	0,23	0,11
200 %	33,41	42,75	99,86	121,15	0,20	0,09
	ns	ns	Ns	ns	ns	ns

ASST: Área de la sección transversal del tronco. DDT: Días después del tratamiento. TCA: Tasa de crecimiento absoluto. ns: No significativo ($p > 0,05$).

6.2. Diámetro de la copa

El diámetro de copa mantuvo un crecimiento constante en todos los tratamientos; además, durante el período de evaluación, no se presentaron diferencias significativas (p -valor $> 0,05$) en ningún momento de la medición. No obstante, el tratamiento de fertilización al 0 % registró la media más alta del diámetro de copa llegando a obtener un valor de 136 cm; además se observó que a los 100 días el tratamiento al 100 % de fertilización llegó a alcanzar una media de 130 cm valor similar al tratamiento 0 %. El tratamiento a 200 % de fertilización fue el que obtuvo un menor valor de 109 cm. (Figura 4).

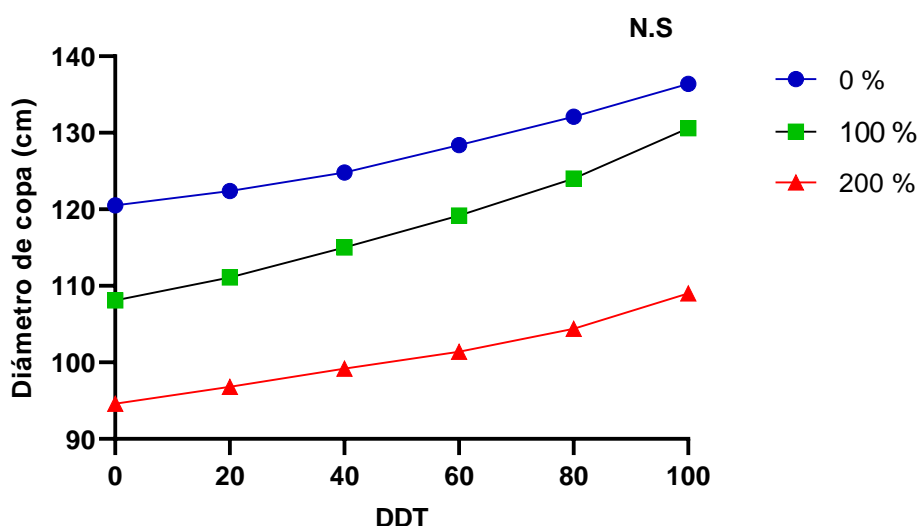


Figura 4. Expresión del crecimiento del diámetro de copa de las plantas de cacao EETP-801. DDT: Días después de los tratamientos. N.S: No se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$)

En la tabla 5 se presenta el incremento del diámetro de copa en el cual no se encontraron diferencias significativas (p -valor = 0,495; $p > 0,05$); sin embargo, el tratamiento al 100 % de fertilización presentó un mayor incremento de 22,50 cm, seguido del tratamiento al 0 % de fertilización con 15,88 cm y el tratamiento al 200 % de fertilización presentó el incremento más bajo con un valor de 14,38 cm. Además, se presenta la tasa de crecimiento absoluta, que al igual que el incremento no presentó diferencias significativas y el tratamiento al 0 % obtuvo la mayor tasa de crecimiento absoluto con un valor de 0,21 cm día^{-1} .

Tabla 5. Incremento y tasa de crecimiento absoluto del diámetro de copa de las plantas de cacao EETP-801

Tratamientos	Incremento (cm)	TCA (cm día^{-1})
0 %	15,88	0,15
100 %	22,50	0,21
200 %	14,38	0,14
	Ns	ns

TCA: Tasa de crecimiento absoluto. ns: No significativo ($p > 0,05$).

6.3. Índice de área foliar (IAF)

En la tabla 6 se presenta el número de hojas, la longitud de la hoja y el área foliar. De acuerdo con los resultados obtenidos, en cuanto al número de hojas no se encontraron diferencias significativas (p -valor = 0,27; $p > 0,05$); sin embargo, el tratamiento al 0 % de fertilización presentó la mayor cantidad con 443 hojas, seguido del tratamiento al 100 % con 351 hojas y finalmente el tratamiento al 200 % presentó el menor número de hojas con un valor de 182.

En lo que respecta a la longitud de la hoja, igualmente no se presentaron diferencias significativas (p -valor = 0,561; $p > 0,05$); se observó que el tratamiento al 100 % alcanzó la mayor longitud con 25,58 cm, luego el tratamiento al 0 % de fertilización con 21,55 cm y el tratamiento al 200 % fue el de menor longitud con 21,12 cm.

El área foliar tampoco presentó diferencias significativas (p -valor = 0,30; $p > 0,05$); sin embargo, el tratamiento al 100 % de fertilización presentó el área foliar superior con 41,26 m^2 , seguido del tratamiento al 0 % de fertilización con 41,26 m^2 y finalmente el tratamiento al 200 % presentó la menor área foliar con un valor de 15,13 m^2 .

Tabla 6. Número de hojas, longitud de hoja, área foliar m² e índice de área foliar de las plantas de cacao EETP-801

Tratamientos	Nº Hojas	Longitud de hoja (cm)	AF m ²	IAF
0 %	443	21,55	41,26	2,95
100 %	351	25,58	42,88	3,06
200 %	182	21,12	15,13	1,08
	ns	Ns	ns	ns

AF: Área foliar. IAF: Índice de área foliar. ns: No significativa (p > 0,05).

En la Figura 5, se presenta el IAF al finalizar el ensayo, en el cual no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (p-valor = 0,30; p > 0,05); además se observa que las plantas bajo el tratamiento de fertilización al 100 %, obtuvieron el mayor IAF con un valor de 3,06, seguido del tratamiento al 0 % de fertilización con 2,95 y finalmente el tratamiento al 200 % con 1,08. (Tabla 6).

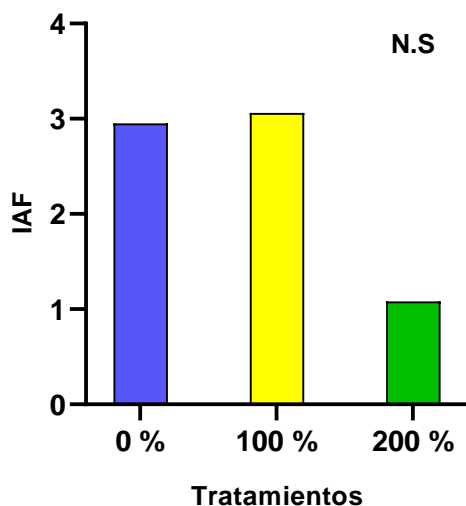


Figura 5. Índice de área foliar en plantas de cacao clon EETP-801. N.S: No se encontraron diferencias significativas

6.4. Concentración de clorofila

En cuanto al análisis de concentración de Clorofila A y B, no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos al finalizar el ensayo (p-valor = 0,71; p-valor = 0,52, respectivamente; p > 0,05). Sin embargo, el tratamiento de fertilización al 100 %, registró la media más alta de concentración clorofila A con un valor de 50,30 ml g⁻¹ y clorofila B con 27,42 ml g⁻¹ (Tabla 7).

Tabla 7. Medias del contenido de clorofila (a, b y total) en hojas de cacao EETP-801

Tratamientos	Concentración de clorofila (ml g ⁻¹)		
	Clorofila A	Clorofila B	Clorofila Total
0 %	42,57	20,90	63,45
100 %	50,30	27,42	77,70
200 %	46,94	26,58	73,49
	ns	ns	ns

ns: No significativo ($p > 0,05$).

Respecto a la concentración de Clorofila Total, igualmente no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos (p -valor = 0,63; $p > 0,05$); a pesar de ello, se observó diferencias aritméticas con medias más altas de concentración de clorofila total en el tratamiento de fertilización al 100 %, con un valor de 77,70 ml g⁻¹, seguido del tratamiento al 200 % de fertilización con 73,49 ml g⁻¹ y finalmente el tratamiento al 0 % de fertilización con 63,45 ml g⁻¹ (Figura 6).

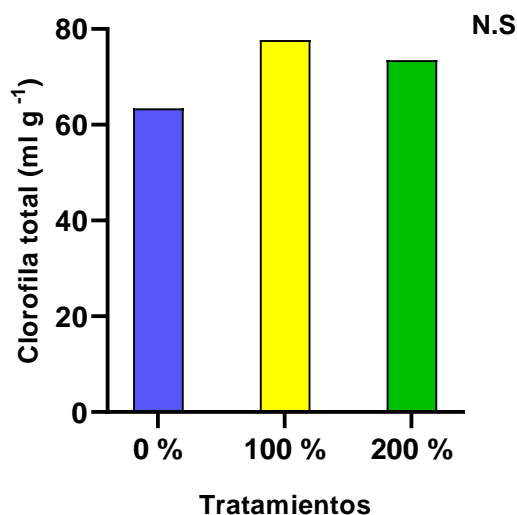


Figura 6. Concentración de clorofila total en plantas de cacao clon EETP-801. N.S: No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$)

6.5. Densidad estomática

En la Figura 7 se presenta la densidad estomática y densidad de células epidérmicas al final del ensayo; en la cual se puede observar que, respecto al número de estomas, no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos (p -valor = 0,91; $p > 0,05$). Sin embargo, el tratamiento de fertilización al 100 %, registró la media más alta con un valor de 854,72 estomas/mm², seguido del tratamiento al 0 % de fertilización con 819,27 estomas/mm² y finalmente el tratamiento al 200 % de fertilización con 810,43 estomas/mm².

En cuanto a la densidad de células epidérmicas igualmente no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (p -valor = 0,28; $p > 0,05$); sin embargo, el tratamiento al 0 % de fertilización mostró el valor más alto con 2989,54 células epidérmicas/mm² respecto de los otros tratamientos (Tabla 8).

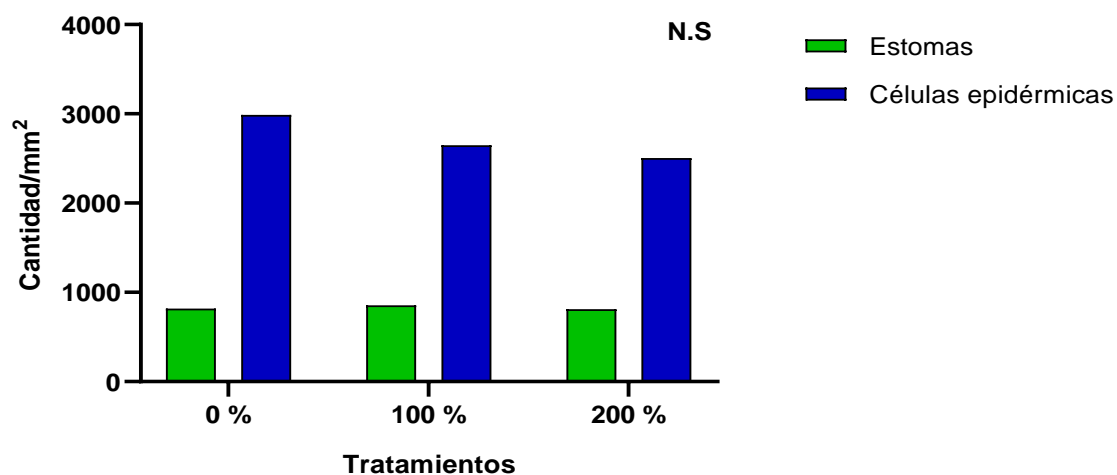


Figura 7. Densidad estomática y densidad de células epidérmicas en hojas de cacao clon EETP-801.

N.S: No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$)

El índice estomático de igual manera no presentó diferencias significativas entre los tratamientos (p -valor = 0,35; $p > 0,05$); sin embargo, el tratamiento 100 % de fertilización mostró el valor más alto con 24,57 %, respecto de los otros tratamientos (Tabla 8).

Tabla 8. Densidad de estomas, células epidérmicas e índice estomático en hojas de cacao EETP-801

Tratamientos	Densidad estomática (estomas/mm ²)	Densidad de células epidérmicas (células/mm ²)	Índice estomático (%)
0 %	819,27	2989,54	21,58
100 %	854,72	2647,48	24,57
200 %	810,43	2504,16	24,36
	ns	ns	ns

ns: No significativo ($p > 0,05$).

6.6. Fenología del cultivo y porcentaje de plantas en etapa productiva

Durante los 100 días de evaluación de las plantas se observó que en todos los tratamientos la duración de la etapa de aparición de la inflorescencia que comprende desde los botones florales visibles (BBCH 52) hasta los botones florales completos (BBCH 59) fue de aproximadamente 30 días y la duración de la etapa de desarrollo de fruto que comprende desde los frutos visibles

en el tallo o ramas (BBCH 71), hasta que los frutos alcanzan un 90 % del tamaño final (BBCH 79) fue de aproximadamente 60 días.

En la Figura 8 se muestra el porcentaje de plantas que al finalizar el ensayo se encontraban en etapa productiva, donde se puede observar que los tratamientos de fertilización al 0 % y 100 % presentan el 75 % de plantas en etapa productiva y, por el contrario, el tratamiento de fertilización al 200 % presenta el 25 % en etapa productiva.

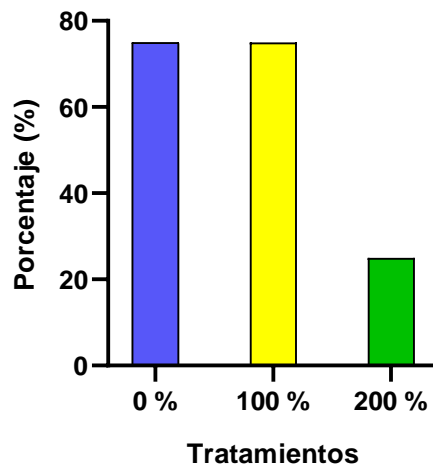


Figura 8. Porcentaje de plantas de cacao EETP-801 en etapa productiva

6.7. pH del suelo

El valor del pH inicial del suelo donde se realizó el estudio fue de 4,9. En la Figura 9 se presenta la evolución del pH del suelo evaluado en diferentes días luego de aplicar los tratamientos, donde se puede observar que no existieron diferencias significativas (p -valor $> 0,05$). Sin embargo, a los 40 días se aprecia un incremento del pH en el tratamiento de fertilización al 0 % con una media de 5,37; a los 100 días se observa que los tratamientos de fertilización al 100 % y 200 % obtuvieron las medias más altas con valores de 5,35 y 5,38 respectivamente. Además, a los 80 días para los tres tratamientos se observa un descenso del pH del suelo entre rangos de 4,57 y 4,78.

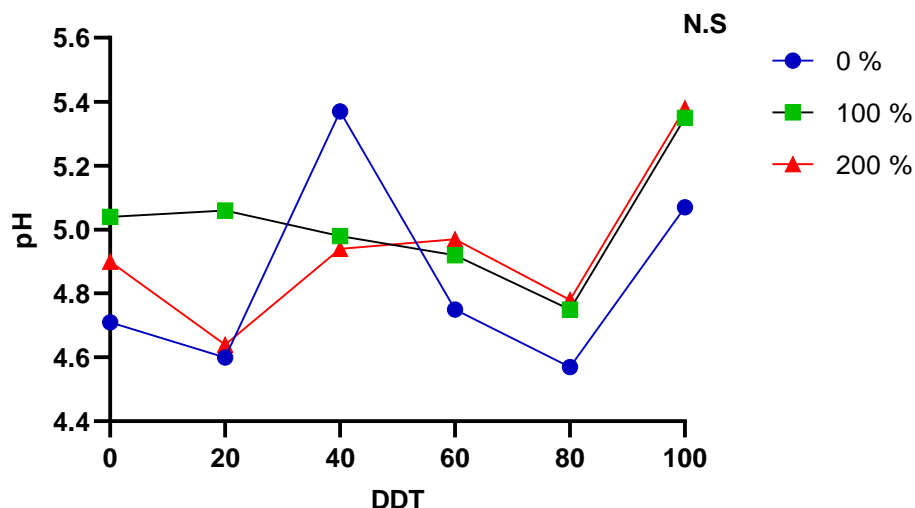


Figura 9. Evolución del pH del suelo bajo tres niveles de fertilización: 0 %, 100 % y 200 %, en el cultivo de cacao EETP-801. N.S: No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$)

6.8. Conductividad eléctrica del suelo

La conductividad eléctrica del suelo a los 0 y 20 días después de la aplicación de los tratamientos no se presentaron diferencias significativas; pero a los 40, 60, 80 y 100 días, si presentaron diferencias significativas (p -valor $< 0,05$). A los 40 días el tratamiento de fertilización al 100 % fue el más alto con un valor de $0,09 \text{ dS m}^{-1}$ y el más bajo el tratamiento de fertilización al 0 % con un valor de $0,03 \text{ dS m}^{-1}$. Luego a los 60 días el tratamiento al 200 % alcanzó el valor más alto de CE con un valor de $1,96 \text{ dS m}^{-1}$. Y a los 100 días igualmente se observó que el tratamiento de fertilización al 200 %, registró la media más alta con un valor de $7,40 \text{ dS m}^{-1}$ y el tratamiento de fertilización al 0 % la media más baja con un valor de $0,14 \text{ dS m}^{-1}$ (Tabla 9).

Tabla 9. Conductividad eléctrica del suelo bajo tres niveles de fertilización: 0 %, 100 % y 200 %, en el cultivo de cacao EETP-801

Tratamientos	Conductividad eléctrica (dS/m)					
	0 DDT	20 DDT	40 DDT	60 DDT	80 DDT	100 DDT
0 %	0,02 a	0,07 a	0,03 a	0,17 a	0,13 a	0,14 a
100 %	0,02 a	0,03 a	0,09 b	0,93 ab	0,54 ab	4,15 b
200 %	0,06 a	0,06 a	0,06 ab	1,96 b	1,32 b	7,40 b

DDT: Días después del tratamiento. Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey ($p < 0.05$).

6.9. Correlaciones entre variables

La tabla 10, muestra las correlaciones entre las variables diámetro de copa, tasa de crecimiento absoluto del diámetro de copa, ASST del portainjerto y vareta, índice de área foliar, longitud de hojas, pH, Clorofila A, Clorofila B y Clorofila total.

Tabla 10. *Correlación entre variables fisiológicas evaluadas en cacao clon EETP-801*

Variable 1	Variable 2	Pearson	p-valor
Diámetro de copa	IAF	0,76	0,0044
	Longitud hojas	0,66	0,0184
TCA del diámetro de copa	IAF	0,76	0,0044
	Longitud hojas	0,67	0,0182
ASST del portainjerto	ASST-Vareta	0,95	< 0,0001
	Clorofila A	-0,62	0,0332
	Clorofila B	-0,65	0,0219
	Clorofila Total	-0,65	0,0225
ASST de la vareta	Ph	0,62	0,0318
	Ph	0,62	0,0305
IAF	Longitud hojas	0,61	0,0365
Clorofila A	Clorofila B	0,88	0,0002
	Clorofila Total	0,98	< 0,0001
Clorofila B	Clorofila Total	0,96	< 0,0001

Los valores representados están descritos por un análisis de correlación de Pearson.

Los análisis de correlaciones se realizaron con el coeficiente de Pearson $> 0,6$ y con significancia de ($p < 0,05$). Las variables que presentaron una fuerte correlación positiva son el contenido de Clorofila A y Clorofila Total ($r = 0,98$; $p < 0,0001$); el contenido de Clorofila B y Clorofila Total ($r = 0,98$; $p < 0,0001$); el contenido de Clorofila A y Clorofila B ($r = 0,88$; $p = 0,0002$); el ASST del portainjerto y el ASST de la vareta ($r = 0,95$; $p < 0,0001$).

En cuanto a las variables que presentaron una correlación fuerte negativa son: el ASST del portainjerto y la Clorofila B ($r = -0,65$; $p = 0,0219$), también el ASST del portainjerto y la Clorofila Total ($r = -0,65$; $p = 0,0225$) y además el ASST del portainjerto y la Clorofila A ($r = -0,62$; $p = 0,0332$).

7. Discusión

En la presente investigación se evaluó la influencia de tres niveles de fertilización sobre variables fisiológicas y productivas en cacao clon EETP-801.

En cuanto al área de la sección transversal del tronco (ASTT) y la tasa de crecimiento absoluto del mismo, no se presentaron diferencias significativas en los tratamientos al finalizar el ensayo, esto concuerda con lo reportado por Romero (2016) en su investigación en el cultivo de cacao donde evaluó el comportamiento de cuatro variedades clonales a la aplicación de dos tratamientos de fertilización; sin embargo, el tratamiento al 0 % de fertilización presentó las medias más altas del ASST tanto para el portainjerto como para la vareta, esta respuesta se cree que radica por el alto nivel nutricional que compone el suelo donde se realizó la evaluación, sumado a esto las plantaciones de cacao promueven un reciclaje constante de nutrientes del suelo ya que el aporte de materia orgánica proveniente de las hojas y restos de cosecha son constantes (Arvelo *et al.*, 2017).

El diámetro de copa no mostró diferencias significativas en los tratamientos a lo largo del período de evaluación; esto puede estar ligado al corto tiempo de evaluación de las variables (100 días) y quizá no fue suficiente para evidenciar las diferencias en el crecimiento de la copa de este cultivo, ya que Snoeck *et al.* (2016) afirma que la fertilización de los árboles de cacao requieren de un manejo a largo plazo ya que tienen una capacidad de amortiguación (capacidad de estabilizar el pH cuando un elemento ácido o alcalino se agrega al suelo) que puede diferir en las respuestas a la fertilización; además Orozco y Thienhaus (1997) afirman que el crecimiento del diámetro de copa de la planta de cacao es irregular, ya que está muy influenciada por el genotipo y el manejo de la poda. Sin embargo, al finalizar el ensayo el tratamiento sin fertilización obtuvo el mayor diámetro de copa; este comportamiento puede ser debido a que como se observa en el análisis de suelo (Anexo 1), la mayor parte de los nutrientes se encuentran en buena cantidad, y existió solamente deficiencia de boro, lo que se corrigió con la aplicación de ácido bórico; además según Arvelo *et al.* (2017) para un buen desarrollo del cultivo de cacao se requiere de suelos muy ricos en materia orgánica, lo que ayuda a la retención de humedad y a reducir la compactación del suelo; así como también se requiere que la capacidad de intercambio catiónico (CIC) debe ser superior a 12 meq/100 g de suelo (Dostert *et al.*, 2011); en el ensayo el contenido de materia orgánica fue de 10,9 % valor relativamente alto y la CIC de 13,2 meq/100 g de suelo, lo que favoreció el buen desarrollo del cultivo.

Con respecto al incremento y la tasa de crecimiento absoluto del diámetro de copa el tratamiento de fertilización al 100 % registró las medias más altas de estas variables, esto debido quizás a como menciona Paredes (2009), la aplicación de fertilizantes en el suelo estimula el crecimiento vegetativo de la planta, así como de sus ramificaciones; uno de los elementos nutricionales que haya influenciado es el nitrógeno ya que es el principal inductor del crecimiento de hojas y madera, siendo la base para la multiplicación celular y el desarrollo vegetativo (Andreu *et al.*, 2016).

En cuanto al índice de área foliar no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos; los valores promedios de IAF de este trabajo estuvieron entre los intervalos reportados para árboles productivos de cacao que van desde 1,3 a 5,6 (Leiva *et al.*, 2019); además se evidenció que las plantas bajo la dosis de fertilización requerida (100 %) por el cultivo presentó el mayor IAF, lo que sostiene que las aplicaciones de diferentes fertilizantes minerales en los cultivos modifican características agronómicas entre ellas el índice de área foliar (González, 2015), esto puede darse debido a que la fertilización está relacionada con la masa radicular; es decir la profundidad de las raíces del cultivo puede ser aumentada en suelos fertilizados, por lo que la absorción de nutrientes es mayor lo que estimula la formación de las hojas (FAO, 2002). Además, se observó que el tratamiento con doble dosis de fertilización (200 %) presentó el menor IAF, lo que concuerda con lo mencionado por Oliva *et al.* (1995) quienes encontraron que las concentraciones superiores de fertilizantes no generan un aumento significativo en el número de hojas; además puede estar relacionado con el efecto defoliante que las plantas emplean para la liberación de iones y así autoajustar los excesos en la absorción de elementos (Novoa, Miranda y Melgarejo, 2018); sumado a que la aplicación de dosis elevadas de fertilizantes pueden causar quemaduras en las raíces y las hojas, por ende se reduce la superficie disponible para que se produzca la fotosíntesis y como resultado las plantas producirán menos glucosa que la necesaria para un crecimiento óptimo (Jones, 2012).

La clorofila es el pigmento más importante en las hojas y responsable de su verdor. Al respecto, la concentración de clorofila a, b y total no presentaron diferencias significativas; entre los tratamientos, los valores obtenidos coinciden con los reportes de Pineda (2021) para el clon CCN51, donde tampoco obtuvo diferencias significativas entre los distintos tipos de clorofila; sin embargo, las plantas al 100 % y 200 % de fertilización presentaron los valores más altos de concentración de clorofila; esto debido a como menciona Sánchez *et al.* (2018) la presencia de nitrógeno en los fertilizantes, independientemente de la presencia de potasio o fósforo favorece

la síntesis de clorofila a, b y total, por esta razón el contenido de clorofila puede utilizarse como indicador del estado nutricional del nitrógeno, ya que este es un elemento esencial en la síntesis de proteínas fotosintéticas (Demotes *et al.*, 2008). Además, el aumento en el contenido de clorofila con la fertilización nitrogenada ha sido reportado por Seneweera *et al.* (2011) en hojas de *Oryza sativa* L y Boussadia *et al.* (2010) en *Olea europea* L., probablemente debido a que el nitrógeno favorece la absorción de Magnesio, lo que influencia la síntesis de clorofila (Gárate y Bonilla, 2000). Por otro lado, en este ensayo se evidenció que el contenido de clorofila a fue en promedio dos veces mayor que el de la clorofila b, independientemente del tratamiento aplicado, lo que coincide con lo encontrado en otras especies como *Beberidopsis corallina* Hook y *Ocimum basilicum* L. (Latsuague *et al.*, 2014; Carter y Spiering 2002); lo que ha sido ligado a la adición de potasio en los fertilizantes ya que este elemento también influye aumentando el contenido de clorofila; este análisis concuerda a lo reportado por Chapagain y Wiesman (2004), respecto a que el potasio es requerido para la síntesis de clorofila a y activador de enzimas involucradas en la síntesis de esta.

La planta de cacao es hipoestomática, es decir que tiene las estomas solamente en la cara abaxial o envés de las hojas, los cuales son pequeños orificios formados por dos células guarda móviles que desempeñan un papel vital en el mantenimiento del homeostasis de la planta bajo condiciones ambientales cambiantes y el intercambio gaseoso (Hernández *et al.*, 2017).

La densidad estomática no presentó diferencias significativas entre los tratamientos; los valores encontrados fueron similares a los presentados por Zambrano (2017) quien encontró promedios de 828, 12 estomas por mm², en diferentes genotipos de cacao evaluados en la región costa de Ecuador; caso contrario obtuvo Hernández *et al.* (2017), quien reportó promedios entre 229 y 262 estomas por mm²; estas discrepancias puede atribuirse a que la densidad estomática varía con las condiciones ambientales, por lo que puede diferir entre plantas de la misma especie, entre hojas de la misma planta y entre sectores de una misma hoja (Tian *et al.*, 2016). Además, Nughes *et al.* (2009) en su estudio reportó que la densidad estomática es mayor en tratamientos con alta radiación solar debido a que la planta en condiciones de alta intensidad de luz modifica la anatomía de las hojas para mejorar la fijación de CO₂ en el proceso de la fotosíntesis, lo que coincide con el estudio desarrollado por Rodríguez *et al.* (2016), donde reportó que los cafetos expuestos a pleno sol registraron mayor densidad estomática y que esta disminuyó significativamente a medida que se incrementó la sombra. En cuanto a la densidad de células epidérmicas e índice estomático los valores encontrados coinciden con los reportados por

Jiménez (2022) para el cultivo de cacao clon EETP-801 el cuál encontró valores entre 2885 y 3124 células epidérmicas por mm^2 y en cuanto al índice estomático valores entre 14,7 % y 24,1 %; Barrientos *et al.* (2003) en su estudio de índice y densidad estomático en plántulas de tres razas de aguacatero menciona que la densidad de células epidérmicas puede variar de acuerdo al genotipo y a la posición de las hojas; por otro lado Salas *et al.* (2001) afirma que la variación del índice estomático en las hojas de las plantas está fuertemente influenciada por la salinidad, ya que los valores de índice estomático pueden aumentar o disminuir a medida que se incrementa la conductividad eléctrica del suelo, lo que parece indicar que es una forma de evasión por parte de las plantas al estrés salino.

En cacao, la fenología está íntimamente asociada a estímulos ambientales que, sobre la base genética, la planta es capaz de expresar. La temperatura, humedad relativa, intensidad de la luz y las lluvias favorables promueven la intensidad de la floración en el cacao, pues influyen positivamente en la iniciación floral, la producción de botones florales y la producción de flores abiertas (Omolaja *et al.*, 2009; Castro *et al.*, 2017). En el presente ensayo todos los tratamientos la duración de la etapa de aparición inflorescencia coincide con lo reportado por López *et al.* (2018) en su estudio denominado biología floral del cacao donde menciona que el período de tiempo desde la aparición del botón floral hasta la apertura del mismo fue de aproximadamente 30 días y la etapa de desarrollo del fruto se asemeja a lo reportado por Bridgemohan *et al.* (2016) en su estudio de evaluación de los estados fenológicos de crecimiento de las plantas de cacao, donde menciona que el crecimiento del fruto de cacao parece comprender dos períodos a) la fase de crecimiento que consta de unos 75 días, y b) la fase de maduración durante la cual aumenta considerablemente la actividad metabólica.

Además se observó que la mayoría de plantas de cacao que se encontraban bajo el tratamiento con doble dosis de fertilización (200 %) aún permanecían en etapa vegetativa; esto puede ser debido a que la concentración y disponibilidad de nutrientes en el suelo o tejido vegetal va más allá de los requerimientos de la planta, lo cual llega a ser tóxico y puede afectar su crecimiento y desarrollo (Aponte y Pacherres, 2013); además la gran cantidad de sales presentes en los fertilizantes provocaron que se eleve la conductividad eléctrica del suelo y por ende la salinidad (Fior *et al.*, 2020), y esta afecta cada aspecto de la fisiología de la planta y su metabolismo, ya que la alta concentración de sales ocasiona un desequilibrio iónico y estrés osmótico; para combatir estos problemas que les impone la salinidad a las plantas, estas emplean varias estrategias en su fisiología como el retraso de la germinación y/o maduración ante condiciones

desfavorables, el engrosamiento de cutículas para hacer descender la transpiración; en su morfología la disminución del tamaño foliar para hacer descender la transpiración, además la reducción de nervios foliares, número de estomas y en su fenología el retraso de la floración (Maestre, 1998).

Con respecto al pH del suelo, no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo, los valores encontrados se encuentran dentro de los propuestos por Dostert *et al.* (2011), quienes mencionan que las plantas de cacao se desarrollan en un pH de 5,0 a 7,5 lo que significa que toleran suelos ligeramente ácidos a ligeramente alcalinos. Durante los 100 días de la aplicación de los fertilizantes al cultivo se observó que existían incrementos y descensos del pH del suelo, esta variabilidad puede atribuirse al contenido de sales, la actividad biológica en el suelo y épocas de verano e invierno (en épocas secas el pH disminuye y en invierno el pH aumenta) (Sánchez *et al.*, 2003); también puede deberse a lo reportado por Huamaní *et al.* (2012) en cuanto a que el uso de fertilizantes contribuye a fluctuaciones y bajos niveles de pH. Además, el descenso del pH puede deberse a las altas precipitaciones de la localidad y el arrastre de los fertilizantes a través del perfil del suelo, lo que coincide con Zapata (2002) y Rosas *et al.* (2017) quienes mencionan que el proceso de acidificación del suelo tiene una tendencia natural en regiones tropicales lluviosas y por la aplicación constante de fertilizantes. Además, se presume que el pH también se vio influenciado por los procesos de mineralización de los rastrojos que se encontraban en el lugar, ya que según Quirós (2005) la mineralización de rastrojos puede llegar a incrementar el pH, así como también el contenido de materia orgánica, y ácidos húmicos.

La CE en el suelo presentó diferencias significativas por efectos de la fertilización a partir de los 40 días después de aplicar los tratamientos y se observó que el tratamiento al 200 % obtuvo el mayor incremento con respecto a los otros tratamientos. Este incremento de la CE en el suelo concuerda con lo reportado por Fior *et al.* (2020) quienes encontraron que la CE aumentó progresivamente en las plantas fertilizadas, frente a las no fertilizadas; esto debido a que los fertilizantes contienen gran cantidad de sales que incrementan el valor de la conductividad eléctrica del suelo; sin embargo, la CE no solo varía por la aplicación de fertilizantes sino también por el material formador del suelo, la topografía del terreno (Cremona y Enríquez, 2020), la textura del suelo, la capacidad de intercambio catiónico, la humedad del suelo y el pH (Brito *et al.*, 2018); además FitzPatrick (1985) menciona que los suelos con elevados niveles

de materia orgánica y/o cationes como Ca^{2+} , K^{+} , Na^{+} , NH_4^{+} o H^{+} elevan la conductividad eléctrica.

8. Conclusiones

- Las plantas de cacao bajo el nivel de fertilización al 0 % (testigo) presentaron las mejores respuestas en cuanto al área de la sección transversal del tronco y el diámetro de copa; esto debido a que previamente existía buena disponibilidad de nutrientes en el suelo, los que influyeron en el desarrollo de las mismas. Además, las plantas de cacao bajo la dosis de fertilización requerida (100 %) presentaron respuestas positivas los parámetros de índice de área foliar, concentración de clorofila a, b y total y densidad estomática, por lo tanto, es importante suministrar dosis adecuadas de fertilizantes a este cultivo. El pH del suelo mostró fluctuaciones durante la evaluación, sin embargo, en los tres niveles de fertilización el pH se mantuvo dentro de los rangos establecidos para el crecimiento y desarrollo óptimo de este cultivo.
- La aplicación de la doble dosis de fertilización (200 %) aumentó progresivamente la conductividad eléctrica (CE) del suelo, lo que incrementó la salinidad del suelo y retrasó el cambio de la etapa vegetativa a la etapa productiva del cultivo de cacao clon EETP-801.

9. Recomendaciones

- Realizar análisis nutricionales foliares y bromatológicos en diferentes estadios de desarrollo del cacao clon EETP-801, para determinar translocación y eficiencia en el uso de nutrientes ante la aplicación de los fertilizantes.
- Incluir un análisis de contenido de metales pesados en el suelo tras la aplicación de los fertilizantes, para describir su influencia en la disponibilidad de los elementos nutricionales y así determinar una mejor dosificación de estos al suelo.

10. Bibliografía

- AGROCALIDAD (Agencia de Regulación y Control Fitosanitario). (2018). MUESTREO PARA ANÁLISIS DE SUELOS. Recuperado el 20 de abril de 2022, de <https://www.agrocalidad.gob.ec/wpcontent/uploads/2020/05/agua8.pdf>
- Aguirre, Z., León, N., Palacios, B., y Aguirre, N. (2013). Dinámica de crecimiento de 29 especies forestales en el Jardín Botánico El Padmi, Zamora Chinchipe, Ecuador. *Centro de Estudios y Desarrollo para la Amazonía (CEDAMAZ)*, 3(1), 18-36. https://www.researchgate.net/publication/263697478_Dinamica_de_crecimiento_de_29_especies_forestales_en_el_jardin_Botanico_el_Padmi_Zamora_Chinchipe
- Alarcón, A. (2001). El boro como nutriente esencial. *Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros*, 155, 36-47. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=171136>
- Alvarado, C. (2016). *Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica, en el rendimiento de un clon de cacao (Theobroma cacao L.) y en la fertilidad del suelo*. [Tesis de grado, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio TEC. <https://hdl.handle.net/2238/9843>
- Anacafé. (2004). *Cultivo de cacao*. Recuperado el 18 de marzo de 2022, de <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/05/Cultivo-de-Cacao.pdf>
- Andreu, J., Betrán, J., Delgado, I., Gil, M., Gutiérrez, M., Iguácel, F., Isla, R., Muñoz, F., Orús, F., Pérez, M., Quílez D., Sin, E., Yague, M. (2006). *Fertilización nitrogenada*. Talleres editoriales cometa.S.A. https://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/868/1/10532-105_11.pdf
- ANECACAO. (2017). *30 años dejando en alto el nombre del cacao ecuatoriano*. Recuperado el 15 de marzo de 2022, de <http://www.anecacao.com/index.php/es/revista/doceava-edicion-junio-2017.html>
- ANECACAO. (2017). *Situación actual del cacao en el mundo: un nuevo reto*. Recuperado el 10 de marzo de 2022, de <http://anecacao.com/index.php/es/revista/onceava-edicion-marzo-2017.html>
- ANECACAO. (2019). *Sector exportador de cacao*. Recuperado el 10 de marzo de 2022, de <http://www.anecacao.com/uploads/estadistica/cacao-ecuador-2019.pdf>

- Aponte, H y Pacherres, C. (2013). Crecimiento y propagación de *Limnobium Laevigatum* (Hydrocharitaceae) bajo diferentes concentraciones de nutrientes. *The Biologist*, 11(1), 69-78. <https://revistas.unfv.edu.pe/rtb/article/view/431/382>
- Arvelo, M., González, D., Maroto, S., Delgado, T., y Montoya, P. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacao: prácticas latinoamericanas*. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura.
- Barrientos, A., Borys, M., Trejo, C., y López, L. (2003). Índice y densidad estomática foliar en plántulas de tres razas de aguacatero. *Fitotecnia Mexicana*, 26(4), 291-299. <https://www.redalyc.org/pdf/610/61026410.pdf>
- Batista, L. (2009). *Guía Técnica el Cultivo de Cacao en la República Dominicana*. Santo Domingo. Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal. <http://www.cedaf.org.do/publicaciones/guias/download/cacao.pdf>
- Benítez, J., Corona, V., Alvarez, J., Rodríguez, J., y Vega, R. (2003). Estimación del diámetro de copa a partir del diámetro normal (d1.3) en plantaciones de *Casuarina equisetifolia* Forst. *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales*, 12(2), 37-42. <https://www.redalyc.org/pdf/629/62910104.pdf>
- Boussadia, O., Steppe, K., Zgallai, H., Ben El Hadj, S., Braham, M., Lemeur, R., y Van Labeke, M. (2010). Effects of nitrogen deficiency on leaf photosynthesis, carbohydrate status and biomass production in two olive cultivars "Meski" and "Koroneiki". *Scientia Horticulture*, 123, 336-342. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.09.023>
- Bridgemohan, P., Mohamed, M. E. S., Mohammed, M., Singh, K., y Bridgemohan, R. S. H. (2016). The Application of BBCH Scale for Codification and Illustrations of the Floral Stages of Caribbean Fine Cacao *Theobroma cacao* L. *Journal of Agricultural Science and Technology A*, 6, 1-10. <https://doi:10.17265/2161-6256/2016.01.001>
- Brito, H., Salaya, J.M., Gómez, E., Gómez, A., y Antele, J.B. (2018). Physico-chemical properties of soil and pods (*Theobroma cacao* L.) in cocoa agroforestry systems. *Journal of Agronomy*, 17(1), 48–55. <https://doi: 10.3923/ja.2018.48.55>
- Cakmak, I., y Yazici, A. (2010). Magnesio: El elemento olvidado en la producción de cultivos. *Better Crops*, 94(2), 23 - 25.

- Carter, G., y Spiering, B. (2002). Optical properties of intact leaves for estimating chlorophyll concentration. *Journal of Environmental Quality*, 31, 1424-1432. [https://doi: 10.2134/jeq2002.1424](https://doi:10.2134/jeq2002.1424)
- Castro, C., Panduro, N., Velazco, E., y Iturraran, E. (2017). Evaluación de la fenología reproductiva y dinámica de producción del cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN - 51. *Big Bang Faustiniiano*, 6(1), 38–42.
- Chapagain, B., y Wiesman, Z. (2004). Effect of Nutri-Vant-PeaK foliar spray on plant development, yield, and fruit quality in greenhouse tomatoes. *Scientia Horticulturae*, 102, 177-188. <https://doi:10.1016/j.scienta.2003.12.010>
- CONABIO (2010). *Theobroma cacao*, *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. Recuperado el 20 de abril de 2022, de http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/68-sterc03m.pdf
- Cremona, M., y Enríquez, A. (2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica. *Presencia*, (73), 5-8. <https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/7709>
- Demotes, S; Boumaza, R; Meyer, S y Cerovic, Z. (2008). Indicadores del estado del nitrógeno para plantas leñosas ornamentales basados en mediciones ópticas del contenido de clorofila y polifenoles epidérmicos de las hojas. *Scientia Horticulturae*, 115, 377-385.
- Dostert, N., Roque, J., Cano, C., La Torre, M., y Weigend, M. (2011). *Hoja botánica: Cacao Theobroma cacao L* (1.^a ed.). Universidad Nacional Mayor de San Marcos <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/bitstream/handle/123456789/185/BIV01202.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Duarte, D., Gutiérrez, E., Báez, N., de Almeida, G., Pereira, M., Bettio G., y Belmonte, H. (2019). *Poda y manejo de luz en el cultivo de cacao*. FEDECACAO.
- Durán, E., y Dubón, A. (2016). *Tipos genéticos de cacao y distribución geográfica en Honduras*. (1.^a ed.). Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. http://www.fhia.org.hn/descargas/Proyecto_de_Cacao_SECO/guia_tipos_geneticos_de_cacao_y_distribucion_geografica_en_honduras.pdf

- Enríquez, G. (2010). *Cacao orgánico guía para productores ecuatorianos*. (2.^a ed.). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4571>
- FAO (2002). *Los fertilizantes y su uso*. (4.^a ed.). Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes. <https://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>
- Fior, C.S., Pinto Paim, L., Caumo, M., Da Silva Alves, L., y Schwarz, S.F. (2020). Fertilization in *Butia odorata* seedlings formation. *Bosque*, 41(3), 241-251. <http://doi.org/10.4067/S0717-92002020000300241>
- FitzPatrick, E. (1985). *Suelos en formación, clasificación y distribución*. Editorial Continental. S.A.
- Galindo, J., y Clavijo, J. (2007). Modelos alométricos para estimar el área de los folíolos de arveja (*Pisum sativum* L.). *Corpoica*, 8(1), 37-43. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=449945022005>
- Gárate, A., y Bonilla, I. (2000). Nutrición mineral y producción vegetal. En: J. Azcon-Bieto y M. Talón (Eds.), *Fundamentos de Fisiología Vegetal* (pp. 113-129). McGraw-Hill Interamericana.
- González, B; Robledo, M; Espinosa, A; Martínez, J; Celis, D; Valdivia, R y Zaragoza, J. (2015). Eficiencia agronómica de fertilización al suelo de macro nutrientes en híbridos de maíz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(7), 1557-1569. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000700011&lng=es&tlng=es.
- Hernández, C., Leiva, E., y Ramírez, R. (2017). Dinámica estomática en cacao (*Theobroma cacao* L.). *International Symposium on Cocoa Research*. 1-7. <https://www.icco.org/wp-content/uploads/T2.237.DINAMICA-HIDRICA-DEL-CACAO-Theobroma-cacao-L.pdf>
- Huamaní, H., Huauya., Mansilla, L., Florida, N., y Neira, G. (2012). Presencia de metales pesados en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) orgánico. *Acta agronómica*, 61(4), 339-344. <https://www.redalyc.org/pdf/1699/169926831006.pdf>

- Isla, E., y Andrade, B. (2009). *Manual para la producción de cacao orgánico en las comunidades nativas de la cordillera del cóndor* (1.^a ed). Fundación Conservación Internacional.
- Jiménez, E. (2022). *Influencia de dos niveles de sombra y fertilización sobre parámetros morfofisiológicos en plantas de cacao (Theobroma cacao L.) clon EETP-801 en el sector "El Padmi", provincia de Zamora Chinchipe*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Digital - Universidad Nacional de Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/25088>
- Jones, J. 2012. *Plant Nutrition and Soil Fertility Manual*. (2.^a ed.) CRC Press.
- Latsague, M., Sáez, P., y Mora, M. (2014). Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio, sobre el contenido foliar de carbohidratos, proteínas y pigmentos fotosintéticos en plantas de *Berberidopsis corallina* Hook.f.. *Gayana-Botánica*, 71(1), 37-42. <http://doi:10.4067/S0717-66432014000100007>
- Leiva, E; Gutiérrez, E; Pardo, C y Ramírez, R. (2019). Comportamiento vegetativo y reproductivo del cacao (*Theobroma cacao* L.) por efecto de la poda. *Revista fitotecnia mexicana*, 42(2),137-146. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802019000200137&lng=es&tlng=es.
- Loayza, F., y Zabala, J. (2018). *Análisis de la cadena productiva del cacao ecuatoriano para el diseño de una política pública que fomente la productividad y la eficiencia de la producción cacaoera período 2007-2016*. [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio Institucional de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/14635>
- Loor, R., Sotomayor, I., Jiménez, J., Tarqui, O., Rodríguez, G., Casanova, T., y Quijano, G. (2018). *INIAP-EETP-800 e INIAP-EETP-801 nuevos clones de cacao fino y de aroma con alto rendimiento*. INIAP, Estación Experimental Tropical Pichilingue, Programa Nacional Cacao y Café. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5240>
- López, J; López, L; Avendaño, C; Aguirre, J; Espinosa; Moreno, J; Mendoza, A; Suárez, G. (2018). Biología floral de cacao (*Theobroma cacao* L.); criollo, trinitario y forastero en México. *Agro productividad*. 11(9), 129-135. <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1225/998>

- López, M., y Mendoza, A. (2011). Programa estratégico para el desarrollo rural sustentable de la Región Sur-Sureste de México: Trópico Húmedo 2011. Huamanguillo, Tabasco: Campo Experimental Huamanguillo. 11p.
- López, O., Ramírez, I. Espinoza, S., Moreno, J., Ruiz, C., Villareal, J., y Rojas, J. (2015). *Manejo agroecológico de la nutrición en el cultivo del cacao*. (1.^a ed). Universidad Autónoma de Chiapas. https://espacioimasd.unach.mx/libro/num7/Manejo_agroecologico_de_la_nutricion_en_el_cultivo_del_cacao.pdf
- Lozano, D., Palacios, B., y Aguirre, Z. (2018). Modelos alométricos para estimar el almacenamiento de carbono de bosques montanos bajos en el sur del Ecuador. *Ciencia forestal*, 28(3), 1328-1339. <https://doi.org/10.5902/1980509833464>
- Maestre, T. (1998). Adaptaciones de las plantas ibéricas a los suelos salinos. *Quercus*, 143, 19-22.
- Martín, J., y Pérez, G. (2009). Evaluación agroproductiva de cuatro sectores de la provincia de Pastaza en la Amazonía ecuatoriana. *Cultivos Tropicales*, 30(1), 00-00. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000100003
- Mckinney, G. (1941). Absortion of light by chlorophyll solutions. *Journal Biology Chemistry*, 140(2), 315-322. [http://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)51320-X](http://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)51320-X)
- Mengel, K., y Kirkby, A. (2001). Principles of Plant Nutrition. *Kluwer Academic Publishers*. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-010-1009-2>
- Niemenak, N., Cilas, C., Rohsius. C., Bleiholder, H., Meier, U., y 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. <http://doi:10.1111/j.1744-7348.2009.00356.x>
- Novoa, M, Miranda, D y Melgarejo, L. (2018). Efecto de las deficiencias y excesos de fósforo, potasio y boro en la fisiología y el crecimiento de plantas de aguacate (*Persea americana*, cv. Hass). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2), 293-307. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.8092>
- 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*, 22(2), 159-170.
<https://revistas.unne.edu.ar/index.php/bon/article/view/1245>

- Oliva, M., de Barros, N y de Mouza, M. (1995). Muerte api cal en eucalipto y manejo nutritivo de plantaciones forestales: aspectos fisiológicos del problema. *Bosque*, 16 (1), 77-86. <http://revistas.uach.cl/pdf/bosque/v16n1/art08.pdf>
- Omolaja, S., Aikpokpodion, P., Oyedeji, S., y Vwioko, D. (2009). Rainfall and temperature effects on flowering and pollen productions in cocoa. *African Crop Science Journal*, 17(1), 41–48.
- Orozco, M y Thienhaus, S. (1997). Efecto de la gallinaza en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en desarrollo. *Agronomía Mesoamericana*. 8(1), 81-92.
- Oyewole, O., Ajayi, O y Rotimi, I. (2012). Growth of cocoa (*Theobroma cacao* L.) seedlings on old cocoa soils amended with organic and inorganic fertilizers. *African Journal of Agricultural Research* 7(24), 3604 – 3608.
- Palacios, B., Aguirre, Z., y Lozano, D. (2015). Experiencias de Enriquecimiento Forestal en Bosque Secundario en la Microcuenca “El Padmi”, Zamora Chinchipe Ecuador. *Centro de Estudios y Desarrollo para la Amazonía CEDAMAZ*, 5(1), 4-12.
- Paredes, N. (2009). *Manual de cultivo de cacao para la Amazonía Ecuatoriana*. INIAP, Estación Experimental Central de la Amazonía, Unidad de Recursos Fitogenéticos. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4786>
- Paspuel, M. (2018). Respuesta del cacao a la aplicación del fertilizante “full cacao” en comparación con la fertilización convencional en Pangua. [Tesis de grado, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central Del Ecuador]. Quito, Ecuador.
- Pineda, K. (2021). Respuesta morfofisiológica a la aplicación de tres niveles de fertilización en cacao (*Theobroma cacao* L). clon CCN51 en la provincia de Zamora Chinchipe, sector “El Padmi”. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Digital-Universidad Nacional de Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/24022>
- Puentes, Y., Menjivar, J., y Aranzazu, F. (2014). Eficiencias en el uso de nitrógeno, fósforo y potasio en clones de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Bioagro*, 26(2), 99-106. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612014000200004

- Quirós, R (2005). *El efecto de la siembra directa sobre rastrojos en el contenido de nitrógeno disponible para el cultivo en un agroecosistema arrocerero inundado*. [Tesis doctoral, Universidad de Costa Rica]. Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica. <https://hdl.handle.net/10669/73758>
- Quiroz, J. (2010). *Boletín Técnico Sistemas de sombra de cacao con maderables*, (151), 1-12. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2060>
- Ramírez T. (2012). Situación de la producción de cacao en la provincia de Zamora Chinchipe: línea base 2009. *Centro de estudios y desarrollo de la amazonia (CEDAMAZ)*, 2(1), 73-77. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/109>
- Ramírez, S. (2008). La moniliasis un desafío para lograr la sostenibilidad del sistema cacao en México. *Tecnología en marcha*, 21(1), 97-110. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/1343
- Recalde, M y Carrillo, M. (noviembre, 2010). *Manejo de la nutrición del cultivo de cacao (Theobroma cacao) tipo Nacional y CCN 51 en etapa de establecimiento*. [Presentación de paper]. XII Congreso de la ciencia del suelo, Santo Domingo, Ecuador. <https://docplayer.es/28743277-Xii-congreso-ecuadoriano-de-la-ciencia-del-suelo.html>
- Rodés, R., y Collazo, M. (2006). *Manual de prácticas de fotosíntesis* (1.^a ed.). Universidad Autónoma de México. <https://books.google.com.pe/books?id=FanXSdIC-oIC>
- Rodríguez, L., Guevara, F., Gómez, H., Fonseca, M., Gómez, J., y Pinto, R. (2016). Anatomía foliar relacionada con la ruta fotosintética en árboles de café (*Coffea arabica* L., var. Caturra Rojo) expuestos a diferentes niveles de radiación solar en la Sierra Maestra, Granma, Cuba. *Acta Agronómica*, 63(3), 248-54. <http://doi:10.15446/acag.v65n3.46731>
- Romero, E. (2016). *Evaluación ecomorfológica de cacao (Theobroma cacao L.) sometido a distintas fertilizaciones en la comunidad Nuevo Ojital, Municipio de Paplanta*. [Tesis de grado, Universidad Veracruzana]. Repositorio Institucional de la Universidad Veracruzana. <https://cdigital.uv.mx/handle/123456789/47417>
- Romero, L., Parra, R., Jacobo, J., Ojeda, D., Guerreiro, V., Ávila, G., y Ruiz, T. (2017). Respuesta de portainjertos de manzano a vigor, eficiencia de producción y concentraciones foliar y en fruto de NPK. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(4), 849-861. <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263152088008.pdf>

- Rosas, G., Puentes, Y., y Mejinvar, J. (2017). Relación entre el Ph y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(3), 529-541. <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v18n3/0122-8706-ccta-18-03-00529.pdf>
- Ruales J., Burbano H., y Ballesteros, W. (2011). Efecto de la fertilización con diversas fuentes sobre el rendimiento de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista de Ciencias Agrícolas*, 28(2), 81-94. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5104094>
- Salas, J., Sanabria, M., y Pire, R. (2001). Variación en el índice y densidad estomática en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) sometidas a tratamientos salinos. *Bioagro*, 13(3), 99-104. <https://www.redalyc.org/pdf/857/85713302.pdf>
- Sánchez, E; Ruíz, J; Romero, L; Preciado, P; Flores, M y Márquez, C. (2018). ¿Son los pigmentos fotosintéticos buenos indicadores de la relación del nitrógeno, fósforo y potasio en frijol ejotero? *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 5(15), 387-398. <https://doi.org/10.19136/era.a5n15.1757>
- Sánchez, L., Parra, D., Gamboa, E., y Rincón, J. (2005). Rendimiento de una plantación comercial de cacao ante diferentes dosis de fertilización con NPK en el sureste del estado Táchira Venezuela. *Bioagro*, 17(2), 119-122. <https://www.redalyc.org/pdf/857/85717208.pdf>
- 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 (*Sacharum officinarum* L) en Tabasco, México. *Interciencia*, 28(7), 404-407. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0378-18442003000700008&lng=pt&nrm=iso&tlng=es
- Sánchez, V., Zambrano, J., Iglesias, C., Rodríguez, E., Villalobos, V., Díaz, F., Carrillo, N., Gutiérrez, A., Camacho, A., y Rodríguez, O. (2019). *La cadena de valor del cacao en América Latina y El Caribe*. INIAP, Estación Santa Catalina. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5382>
- Seneweera, S.P., Makino, A., Hirotsu, N., Norton, N., y Suzuki, Y. (2011). New insight into photosynthetic acclimation to elevated CO₂: The role of leaf nitrogen and ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase content in rice leaves. *Environment Experimental Botany*, 1, 128-136. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20113124270>

- Snoeck, D., Afrifa, A., Ofori Frimpong, K., Boateng, E., y Abekoe, M. (2010) Mapping fertilizer recommendations for cocoa production in Ghana using soil diagnostic and GIS tools. *West African Journal of Applied Ecology*, 179, 7-107. http://publications.cirad.fr/une_notice.php?dk=558025
- Snoeck, D., Koko, L., Joffre, J., Bastide, P., y Jagoret, P. (2016). Cacao Nutrition and fertilization. *Springer International Publishing*, 155-202. http://publications.cirad.fr/une_notice.php?dk=579867
- Thong, K. C. (1978). Growth and nutrient composition of monocrop cocoa plants on inland Malaysian soils. *International Conference on Cocoa and Coconuts*. 262-286.
- 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.
- Tisdale, S., y Nelson, W. (1991). *Fertilidad de los suelos y fertilizantes* (3.^a ed.). Editorial Limusa.
- Valenzuela, J. (2021). *Modelo productivo para el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.). Nutrición y fertilización*. Compañía Nacional de chocolates. <https://chocolates.com.co/wp-content/uploads/2021/08/PDF-WEB-FOLLETO-NUTRICION-Y-FERTILIZACION.pdf>
- Van Vliet, J., Slingerland, M., y Giller, K. (2015). Mineral Nutrition of Cocoa. *Advances in agronomy*, 141, 185-270. <http://doi:10.1016/bs.agron.2016.10.017>
- Varas, J. (2016). *Evaluación de la aptitud de los suelos para el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) en la Comunidad El Rocano del Cantón Arenillas de la Provincia de El Oro*. [Tesis de grado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. Repositorio Digital de la Universidad Santiago de Guayaquil. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/6934>
- Wessel, M. (1980). Developments in Cocoa nutrition in the nineteen seventies, e review of literature. *Birmingham England*, 11-24.
- 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*. [Tesis de

grado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Repositorio Digital de la Universidad
Técnica Estatal de Quevedo. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/2722>

Zapata, R. (2002). *Química de la acidez del suelo*. Universidad Nacional de Colombia.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3280>

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. Tlf. (02) 3007284 / (02)2504240 Mail: laboratorio.dsa@inip.gob.ec	
---	--	---

INFORME DE ENSAYO No: 21-0806

NOMBRE DEL CLIENTE: Campoverde Cordova Rosa Carolina PETICIONARIO: Campoverde Cordova Rosa Carolina EMPRESA/INSTITUCIÓN: Campoverde Cordova Rosa Carolina DIRECCIÓN: PADMI, Yanzatza, Zamora Chinchipe	FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 04/11/2021 HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 11:37 FECHA DE ANÁLISIS: 04/11/2021 FECHA DE EMISIÓN: 10/11/2021 ANÁLISIS SOLICITADO: S4
---	---

Análisis	Unidad	pH	N	P	S	B	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	Ca/Mg	Mg/K	Ca*Mg/K	Z Bases*	MO	CO*	Textura (%)			IDENTIFICACIÓN												
			ppm	ppm	ppm	ppm	meq/100g	meq/100g	meq/100g	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	meq/100g	%	%	Arena	Limo	Arcilla		Clase Textural											
21-3146	4,9	M Ac	138	A	106	A	122,0	A	0,90	B	0,49	A	0,06	A	3,97	A	8,5	A	3,3	A	342	A	113,8	A	2,28	8,06	26,43	13,52	10,9	A	41	36	23	FRANCO	Muestra 1

Análisis	Unidad	Al ³⁺	Al ²⁺	Na ⁺	C.E.*	N. Total	K H2O*	P H2O*	Cj ¹	N-NO3 ²	IDENTIFICACIÓN
	meq/100g			ds/m	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	

OBSERVACIONES:

MÉTODOS USADOS	
pH	Solución 1:2,5
Ca	Ca Mg - Olor Modificado
Mg	Ca Fe Mn Zn - Olor Modificado
	- Carcinoma

* Ensayos no solicitados por el cliente

INTERPRETACIÓN		
pH	Elemento	
Ac	Acido	N
Ne	Neutro	S
Al	Alcalino	B
LA	Lig. Alcalino	M
AL	Alcalino	A
TC	Tropano Cal	T

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

MÉTODOS USADOS	
C.E.	Palo Saturado
M.O.	Diagrama de Petalov
NaK	Tubo de NaOH

INTERPRETACIÓN		
AM/LAI/Na	C.E.	M.O y G
S	No Salino	S
M	Lig. Salino	M
T	Salino	T
MS	Muy Salino	MS
A	Alto	A




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

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

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

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

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. Tlf. (02) 3007284 / (02)2504240	
---	---	---

INFORME DE ENSAYO No: 21-0806

NOMBRE DEL CLIENTE: Campoverde Cordova Rosa Carolina PETICIONARIO: Campoverde Cordova Rosa Carolina EMPRESA/INSTITUCIÓN: Campoverde Cordova Rosa Carolina DIRECCIÓN: PADMI, Yanzatza, Zamora Chinchipe	FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 04/11/2021 HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 11:37 FECHA DE ANÁLISIS: 04/11/2021 FECHA DE EMISIÓN: 10/11/2021 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	meq/100 g suelo	meq/100 g suelo	meq/100 g suelo	(%)	meq/100 g suelo	
21-31246	1,03	9,39	4,50	0,84	15,8	SATURADO	13,2	Muestra 1

RESPONSABLES DEL INFORME



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.

Anexo 2. Cálculo de la dosis de corrección de la deficiencia de Boro

Elemento	Dato del análisis de suelo (ppm)	Valor óptimo (ppm)	Déficit (ppm)
Boro	0,90	1,3	0,4

Fórmulas empleadas:

$$\text{Déficit} = \text{Valor óptimo} - \text{Valor disponible}$$

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

Desarrollo:

$$\text{Dosis de corrección del Boro} = \frac{(1,3 - 0,9) * 1,10 * 0,2 * 10}{0,26} = 3,3 \text{ kg/ha}$$

$$\frac{3,3 \text{ Kg} * 1 \text{ planta}}{714 \text{ plantas}} = 0,0046 \text{ Kg} = 4,62 \text{ g}$$

Ácido Bórico 17,5 %:

$$\frac{4,62 \text{ g}}{17,4} * 100 = 26,4 \text{ g}$$

Las dosis de corrección se aplicaron de forma fraccionada en 2 aplicaciones, cada 20 días.

Anexo 3. Estimativo de la cantidad de nutrientes absorbidos por el cultivo de cacao en diferentes estados de desarrollo (Thong, 1978)

Estado de la planta	Edad de la planta (meses)	Requerimiento nutricional medio en Kg/ha						
		N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn
Vivero	5-12	2,4	0,6	2,4	2,3	1,1	0,04	0,01
Establecimiento	28	136	14	156	113	47	3,9	0,5
Inicio de la producción	39	212	23	321	140	71	7,1	0,9
Plena producción	50-87	438	48	633	373	129	6,1	1,5

Anexo 4. Cálculo de la cantidad de elementos nutricionales requeridos por el cultivo de cacao en etapa productiva

Nitrógeno (N)

714 plantas	212 Kg Ha ⁻¹	
1 planta	X=?	X= 296,8 g de N por planta

Fósforo (P)

714 plantas	23 Kg Ha ⁻¹	
1 planta	X=?	X= 32,2 g de P por planta

Potasio (K)

714 plantas	321 Kg Ha ⁻¹	
1 planta	X=?	X= 449,4 g de K por planta

Magnesio (Mg)

714 plantas	71 Kg Ha ⁻¹	
1 planta	X=?	X= 99,4 g de Mg por planta

Calcio (Ca)

714 plantas	140 Kg Ha ⁻¹	
1 planta	X=?	X= 196 g de Ca por planta

Anexo 5. Cálculo de la dosis de fertilizantes para el cultivo de cacao en etapa productiva

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

100 g de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 26 g de Ca
X=? 196 g de Ca **X= 753,8 g por planta de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$**

Aporte de Nitrógeno

100 g de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 15 g de N
753,8 g $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ X=? X= 113,07 g de N
296,8 g de N – 113,07 g de N = 183,73 g de N

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

100 g de DAP 46 g de P
X=? 32,2 g de P **X= 70 g por planta de DAP**

Aporte de Nitrógeno

100 g de DAP 18 g de N
70 g de DAP X=? X= 12,6 g de N
183,73 g de N – 12,6 g de N = 171,1 g de N

Muriato de potasio (60 % K)

100 g de Muriato de potasio 60 g de K
X=? 449 g de K **X= 749 g por planta de Muriato de potasio**

Nitrato de amonio (33 % N)

100 g de NH_4NO_3 33 g de N
X=? 171,1 g de N **X= 518,6 g por planta de NH_4NO_3**

Anexo 6. Evidencia fotográfica del ensayo



Figura 10. Corrección de deficiencia de Boro en el suelo.



Figura 11. Aplicación de los fertilizantes en el cultivo de cacao clon EETP-801.



Figura 12. Toma de muestras de suelo, para determinar pH y CE.



Figura 13. Toma de datos de la longitud de las hojas de cacao clon EETP-801.



Figura 14. Preparación de muestras, para determinar la concentración de clorofila.



Figura 15. Elaboración de improntas para determinar la densidad estomática.

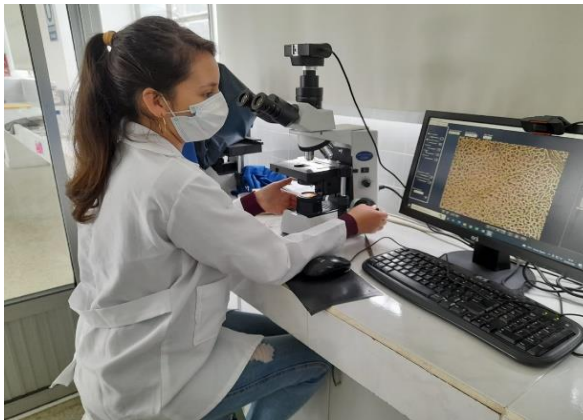


Figura 16. Observación de estomas y células epidérmicas mediante el microscopio OLYMPUS CX31.

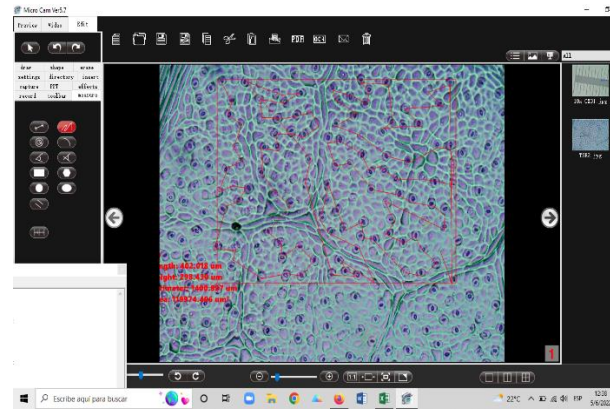


Figura 17. Contabilización de estomas y células epidérmicas mediante el programa Micro Cam Ver 5.7.

Anexo 7. Certificación de traducción del Abstract

CERTIFICADO

Lic. Cecivel Jackeline Jiménez Castillo. Mg. Sc.

Magister en Pedagogía de los Idiomas Nacionales y Extranjeros, mención Inglés

CERTIFICO:

Que he traducido minuciosamente el Resumen del Trabajo de Titulación titulado **“Influencia de tres niveles de fertilización sobre parámetros fisiológicos y productivos de cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP-801 en el sector El Padmi, Zamora Chinchipe”**, de autoría de la estudiante **Marilin Klendy Cumbicus Jiménez**, previo a la obtención del título de Ingeniera Agrónoma.

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

Loja, 20 de agosto del 2022.



Lic. Cecivel Jackeline Jiménez Castillo. Mg. Sc.

**MAGÍSTER EN PEDAGOGÍA DE LOS IDIOMAS NACIONALES Y
EXTRANJEROS, MENCIÓN INGLÉS**

CI: 1900787647

CEL: 0939474281