



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja
Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Agronomía

**“Respuestas morfológicas y fisiológicas en cacao
(*Theobroma cacao* L.) variedad “EETP 800” bajo tres
niveles de nutrición, en la provincia de Zamora
Chinchipec – Ecuador”**

**Trabajo de Titulación Previo a la Obtención
del Título de Ingeniero Agrónomo**

AUTOR:

Saúl Eduardo Gutiérrez Calva

DIRECTORA:

Ing. Mirian Irene Capa Morocho, PhD.

Loja – Ecuador

2022

Certificación

Ing. Mirian Irene Capa Morocho, PhD.

DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACION

CERTIFICA:

Que luego de haber dirigido y revisado el trabajo de titulación: **“Respuestas morfológicas y fisiológicas en cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad “EETP 800” bajo tres niveles de nutrición, en la provincia de Zamora Chinchipe – Ecuador”**., previo a la obtención del título de **Ingeniero Agrónomo**, del egresado: **Saúl Eduardo Gutiérrez Calva**, se autoriza su presentación debido a que el mismo se sujeta a las normas y reglamentos generales de graduación exigido por la Carrera de Ingeniería Agronómica.

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

Loja, 27 de agosto del 2021



Firmado electrónicamente por:
**MIRIAN IRENE
CAPA MOROCHO**

Ing. Mirian Irene Capa Morocho, PhD.

DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACION

Autoría

Yo, **Saúl Eduardo Gutiérrez Calva**, con numero de cedula **1104227622** declaro ser el autor del presente trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi trabajo de titulación en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**SAUL EDUARDO
GUTIERREZ
CALVA**

Autor: Saúl Eduardo Gutiérrez Calva

Cédula: 1104227622

Fecha: 13/06/2022

Carta de autorización

Yo, Saúl Eduardo Gutiérrez Calva, declaro ser el autor del trabajo de titulación: “Respuestas morfológicas y fisiológicas en cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad “EETP 800” bajo tres niveles de nutrición, en la provincia de Zamora Chinchipec – Ecuador”, como requisito para optar al grado de Ingeniero Agrónomo, autorizo producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

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

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

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los trece días del mes de junio del dos mil veinte y dos.

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**SAUL EDUARDO
GUTIERREZ
CALVA**

Autor: Saúl Eduardo Gutiérrez Calva

Número de cédula: 1104227622

Dirección: Av. Villonaco y José de la Cuadra, Barrio La Dolorosa, Cantón Loja - Loja

Correo electrónico: gutierrezcalvasauleduardo@gmail.com

Celular: 0939313392

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de tesis: Ing. Mirian Irene Capa Morocho, PhD.

Tribunal de grado:

Ing. Edmigio Solifs Valdivieso Caraguay Mg. Sc.	Presidente
Ing. Klever Iván Granda Mora, PhD.	Vocal
Ing. Jorge Isaac Armijos Rivera, PhD.	Vocal

Dedicatoria

Este trabajo de titulación lo dedico primeramente a Dios, que me ha dado la vida y las fuerzas para continuar y alcanzar cada meta planteada.

A mis padres Saul y Elena y mis hermanos Viviana, Melissa y Daniel por ser los pilares fundamentales de este logro, por su dedicación y sacrificio, por su firmeza e inigualable apoyo, por sus consejos, crianza y compañía, que acertadamente han contribuido con la confianza y seguridad que necesito para alcanzar mis objetivos.

A mis familiares, amigos y pareja que han estado conmigo en momentos buenos y malos, y que han llegado a formar parte importante no solo de este logro, sino de la vida.

Con cariño...

Saúl Eduardo Gutiérrez Calva

Agradecimiento

Primeramente, a Dios quien me mantuvo con vida y de pie para alcanzar esta meta.

A mis padres Saúl Y Elena, y mis hermanos Viviana, Melissa y Daniel que han estado conmigo mostrándome su apoyo incondicional durante todo el transcurso de la carrera.

A mis amigos y seres queridos que con su compañía han representado una pieza clave de formación y compañerismo.

A los docentes que compartieron conmigo todos sus conocimientos y experiencias influyendo de en gran manera la mayor parte de los conocimientos aquí compartidos.

A la estación experimental el PADMI, y sus autoridades por otorgar un ambiente de trabajo favorable, permitiéndome a mí y a mis compañeros de proyecto avanzar en la investigación.

A mis compañeros de proyecto por su compañía y amistad, compartiendo momentos buenos que me permitieron avanzar con la investigación.

A los docentes encargados del proyecto por su apoyo y dedicación al estar pendientes de las inquietudes y dificultades que tuvimos como equipo.

A mi directora de tesis Ing. Mirian Irene Capa Morocho, PhD que se mantuvo pendiente en el proceso de evaluación y elaboración del trabajo de titulación.

Los tengo a todos presentes siempre... Gracias a todos.

Saúl Eduardo Gutiérrez Calva

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	x
Índice de anexos	xi
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción.....	4
3.1. Objetivo general.....	5
3.1.1. Objetivos específicos	5
4. Marco teórico.....	6
4.1. Origen	6
4.2. Distribución	6
4.3. Importancia del cacao	6
4.4. Taxonomía	7
4.5. Morfología	7
4.6. Condiciones edafoclimáticas	9
4.7. Variedades tipo nacional.....	10
4.8. Nutrición	14
4.9. Cambios morfológicos.....	15

4.9.1. Fenología	15
5. Metodología.....	19
5.1. Ubicación del estudio.....	19
5.2. Datos climáticos y edáficos	19
5.3. Establecimiento del cultivo.....	20
5.4. Diseño experimental	21
5.5. Esquema del diseño experimental en campo	22
5.6. Análisis estadístico	22
5.7. Metodología para el primer objetivo.....	22
5.8. Metodología para el segundo objetivo.....	25
6. Resultados.....	28
6.1. Variables morfológicas y de crecimiento vegetativo.....	28
6.1.1. Altura de la planta	28
6.1.2. Área de sección transversal del tronco	28
6.1.3. Longitud de brote	29
6.1.4. Tasa de crecimiento absoluta	30
6.1.5. Tasa de crecimiento relativa.....	30
6.1.6. Longitud y número de metámeros.....	31
6.1.7. Área foliar	32
6.2. Variables fisiológicas.....	33
6.2.1. Concentración de clorofila	33
6.2.2. Densidad estomática.....	34
6.2.3. Índice de área foliar.....	34
6.2.4. pH del suelo y conductividad eléctrica	34
6.3. Análisis de tejidos.....	35
6.3.1. Análisis bromatológicos	35
6.4. Correlaciones entre variables	36

7. Discusión	37
8. Conclusiones.....	44
9. Recomendaciones	45
10. Bibliografía.....	46
11. Anexos	54

Índice de tablas

Tabla 1. Resultados del análisis de suelo El Padmi realizados en el INIAP de Santa Catalina.....	20
Tabla 2. Resultados pH y conductividad eléctrica del suelo del Padmi realizados en el INIAP de Santa Catalina.....	20
Tabla 3. Resultados de capacidad de intercambio catiónico y concentración de bases del suelo del P0.2admi realizados en el INIAP de Santa Catalina	20
Tabla 4. Área de la sección transversal del tronco de la vareta y del patrón en cultivo de cacao variedad EETP 800.....	29
Tabla 5. Longitud y numero de metámeros a los 148 días después del tratamiento	31
Tabla 6. Concentración de clorofila A, B y Total por tratamiento en el cultivo de cacao variedad EETP 800.....	33
Tabla 7. Densidad estomática en hojas de cacao variedad EETP 800 a los 148 días después de haber aplicado los tratamientos.....	34
Tabla 8. pH del suelo en el transcurso de días después del tratamiento.....	35
Tabla 9. Conductividad eléctrica del suelo en el transcurso de los días después del tratamiento	35
Tabla 10. Resultados de los análisis bromatológicos	36
Tabla 11. Correlaciones entre variables	36

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de ubicación del sitio de estudio en el PADMI.....	19
Figura 2. Esquema del diseño experimental de cacao variedad EETP 800.....	22
Figura 3. Dinámica de crecimiento de altura de las plantas de cacao variedad EETP800	28
Figura 4. Crecimiento en longitud de los brotes de las plantas de cacao variedad EETP800	29
Figura 5. Tasas de crecimiento absoluta de los brotes en plantas de cacao variedad EETP800.....	30
Figura 6. Tasas de crecimiento relativa de los brotes en plantas de cacao variedad EETP 800	31
Figura 7. Ecuación de regresión potencial obtenida con datos de medición alométrica con modelo potencial entre el ancho de la hoja y el área foliar	32
Figura 8. Área foliar de las plantas de cacao variedad EETP800.....	32
Figura 9. Área foliar del brote de cacao Variedad EETP800	33
Figura 10. Índice de área foliar a los 148 días después de la aplicación de tratamientos, no existen diferencias significativas	34

Índice de anexos

Anexo 1. Evidencias fotográficas	54
Anexo 2. Análisis de suelo realizado en la estación experimental santa catalina	56
Anexo 3. Resultados de CIC del suelo del Padmi, realizados en la estación experimental Santa Catalina	57
Anexo 4. Dosis de corrección en base al análisis de suelo	58
Anexo 5. Cálculos de cantidad de elementos requeridos por planta	59
Nitrógeno	59
Fósforo	59
Potasio	59
Magnesio	59
Calcio	59
Anexo 6. Cantidad de fertilizante por planta	60
Anexo 7. Tipo de fertilizantes y cantidad a aplicar por planta y por tratamiento	61
Anexo 8. Certificación de traducción del resumen	62

1. Título:

**“Respuestas morfológicas y fisiológicas en cacao (*Theobroma cacao* L.)
variedad “EETP 800” bajo tres niveles de nutrición, en la provincia de
Zamora Chinchipe – Ecuador”**

2. Resumen

El cacao es un árbol procedente de América latina que produce un fruto del mismo nombre y que es de gran impacto socioeconómico en todo el mundo, en Ecuador es un rubro que contribuye con el 5 % de la población económicamente activa (PEA) principalmente la región costera y amazónica. La variedad EETP 800 se liberó comercialmente en octubre del año 2016 y se destacó por su productividad, sin embargo, no existen investigaciones concretas que revelen el comportamiento de esta variedad en cuanto a la fertilización y más en la región sur amazónica del Ecuador, por esta razón este estudio busca evaluar y analizar el efecto de la nutrición y las características fisiológicas que influyen en el crecimiento vegetativo bajo tres niveles de fertilización: T1 (Testigo), T2 (100% fertilización), y T3 (200% fertilización). El ensayo se estableció en la provincia de Zamora Chinchipe, cantón Yantzaza, en la Estación Experimental El Padmi (820 msnm) con temperatura promedio de 27 °C, y se estableció el cultivar a una distancia de 3,5 x 4 m; la evaluación inició cuando las plantas tenían medio año de edad. El diseño experimental fue completamente al azar, unifactorial (DCA); se evaluaron variables morfológicas, fisiológicas y de tejidos, dentro de las morfológicas están: Altura de la planta, Área de sección transversal del tronco, Longitud de brote, Tasa de crecimiento absoluta, Tasa de crecimiento relativa, Longitud y número de metámeros y Área foliar, las cuales se evaluaron cada 20 días; y dentro de las fisiológicas: Concentración de clorofila, Densidad estomática, Índice de área foliar, pH del suelo y conductividad eléctrica las cuales se evaluaron una sola vez al final del ensayo, a excepción del pH del suelo y la conductividad eléctrica que se evaluó cada 20 días, y el análisis bromatológico una sola vez al final del ensayo. Como resultados no se encontró diferencias apreciables en las variables morfológicas, sin embargo, las variables fisiológicas como densidad estomática, pH del suelo y Conductividad eléctrica si presentaron diferencias. El tratamiento T2 (100% fertilización) presentó los valores más altos en cuanto a la densidad estomática, el pH presentó diferencias a los 63 y 84 DDT siendo el T3 (200 % fertilización) el que alcanzó los niveles más altos de pH, la conductividad eléctrica presentó diferencias los días 63 y 84, siendo el T3 (200 % fertilización) el que mayor CE presentan en los dos días, y en cuanto a los análisis bromatológicos se hallaron diferencias entre el T1 (100 % fertilización) y T3 (200 % fertilización), siendo el T1 el que mayor ceniza con base seca presentó.

Palabras claves: *Theobroma cacao* L. fertilización, morfología, fisiología.

2.1. Abstract

Cocoa is a tree from Latin America that produces a fruit of the same name and is of great socio-economic impact worldwide. In Ecuador it is an item that contributes 5% of the economically active population (EAP) mainly in the coastal and Amazon region. The EETP 800 variety was commercially released in October 2016 and stood out for its productivity, however, there is no concrete research that reveals the behavior of this variety in terms of fertilization and above all in the south Amazon region of Ecuador. For this reason, this study seeks to evaluate and analyze the effect of nutritional and physiological characteristics that influence vegetative growth under three levels of fertilization: T1 (Control), T2 (100% fertilization), and T3 (200% fertilization). The trial was established in the province of Zamora Chinchipe, canton Yantzaza, at the Padmi Experimental Station (820 m above sea level) with an average temperature of 27 °C, and the cultivated field was established at a distance of 3.5 x 4 m; the evaluation began when the plants were half a year old. The experimental design was completely randomized, one factored (DCA); morphological, physiological and tissue variables were evaluated. The morphological variables are: Plant height, Trunk cross-sectional area, Shoot length, Absolute growth rate, Relative growth rate, Length and number of metamers and Leaf area, which were evaluated every 20 days. The physiological variables are: Chlorophyll concentration, Stomatal density, Leaf area index, soil pH levels and electrical conductivity. These variables and the bromatological analysis were evaluated once at the end of the trial with the exception of the soil pH levels and electrical conductivity which were evaluated every 20 days. For results, no appreciable differences were found in the morphological variables; however, the physiological variables such as stomatal density, soil pH levels and electrical conductivity did show differences. The T2 treatment (100% fertilization) presented the highest values in terms of stomatal density; the pH levels presented differences at 63 and 84 DDT; the one that reached the highest levels of pH was the T3 (200% fertilization); and the conductivity electricity presented differences on days 63 and 84, with T3 (200% fertilization) being the one with the highest EC on both days. In terms of the bromatological analysis, differences were found between T1 (100% fertilization) and T3 (200% fertilization). T1 was the one with the highest ash with a dry base.

Keywords: *Theobroma cacao* L., fertilization, morphology, physiology.

3. Introducción

El cacao es un árbol procedente de América latina que produce un fruto del mismo nombre y que es utilizado a nivel mundial para la elaboración de una diversidad de productos como cosméticos y alimentos, por esta razón, el cultivo de cacao es de mucha importancia tanto social como económica en muchos lugares del mundo (FAO, 2017).

La producción mundial de cacao es de 5 252 377 t con rendimientos promedio de 470 kg ha⁻¹ y se concentra en el continente africano, que aporta el 73,3 % de la producción mundial, seguido del continente americano con un 16,7 % y Asia y Oceanía con un 10 %. Según la Organización Internacional de Cacao (ICCO). En Ecuador el cultivo de cacao bordea las 573 833 ha, con una producción promedio baja de 468,54 kg ha⁻¹ (ESPAC, 2018), pero aun así se encuentra entre los principales productores de cacao, ocupando el séptimo lugar a nivel mundial; figurando el 4 % de la producción mundial total Según la producción anual, recogida por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo, (UNCTAD, 2021), esta producción es representada principalmente por pequeños productores con un 70 %, seguido por productores medianos con un 20 % y grandes productores que representan aproximadamente un 10 % (Sánchez *et al.* 2017); por tanto, es un rubro de gran importancia que genera ganancias económicas significativas a miles de personas; además, contribuye con el 5 % de la población económicamente activa nacional (PEA) y el 15 % del PEA rural, constituyéndose en base fundamental de la economía familiar del sector costero y amazónico ecuatoriano (Sánchez *et al.* 2017).

El cacao en Ecuador refleja un rubro de alto impacto económico, especialmente en las regiones de mayor producción como lo es la costa y la amazonia; por ello, se ve la necesidad de variedades que tengan un mejor rendimiento y a su vez, que tengan mejores oportunidades de mercado, Ecuador demanda de variedades más productivas con el sabor único al cacao fino de aroma; por lo cual el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) del Ecuador comenzó a realizar diferentes estudios entre 1997 y 1999 en la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP), y como resultado de nuevas estrategias de mejoramiento genético, se obtuvieron numerosas plantas híbridas segregantes de cacao, que se establecieron en experimentos de campo (aproximadamente 10 ha), donde se evaluó cada individuo durante seis años, dentro de las estrategias de mejoramiento genético se realizaron cruzas entre los clones CCN 51 × EET 233, donde se obtuvo la planta 'E5/T1/R2/A3' la cual se destacó por su productividad y para posteriores evaluaciones de progenies. El clon T1 recibió el Número de Registro XX-19

con la denominación INIAP-EETP-800 “Aroma Pichilingue” y se liberó comercialmente en octubre del año 2016 (Amores, 2019), también se liberó otra variedad como la INIAP-EETP-801, que al igual que la variedad anterior presentaron mejoras en cuanto a la productividad.

Estas nuevas variedades ya están liberadas en el país para su producción, pero no existen estudios concretos que revele cual es el comportamiento del clon EETP 800 en cuanto a niveles de nutrición.

Entre los factores negativos que influyen en el manejo del cultivo de cacao en general se encuentra la mala aplicación de controles fitosanitarios, malas prácticas agronómicas y la fertilización, que influye a largo plazo en la fisiología del cultivo. Es importante realizar un análisis de suelo para determinar el porcentaje de nutrientes y en bases aquellos resultados, aplicar las dosificaciones del fertilizante, ciclo de aplicaciones y requerimiento nutricional del cultivo de cacao (Vera, 2017).

Gracias a los estudios realizados sobre fertilización en cacao se tiene una idea de lo que requiere en las diferentes etapas fenológicas, sin embargo, son estudios realizados hace casi 40 años (Van Vliet *J et al.* 2017).

Este estudio busca observar el comportamiento de la planta de cacao variedad EETP800 aplicando tres niveles de nutrición con la aplicación de macro y micronutrientes entre los cuales tenemos: N, F, K, Mg, Ca, S y B, para obtener datos más específicos sobre la función de dichos nutrientes y para ello se planteó los siguientes objetivos:

3.1. Objetivo general

- Evaluar el comportamiento del crecimiento y características morfológicas del cacao EETP 800 en la estación experimental el Padmi de la Universidad Nacional de Loja.

3.1.1. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de la nutrición sobre el crecimiento vegetativo del cacao variedad EETP800
- Analizar las características fisiológicas que explican el crecimiento vegetativo en función de la nutrición

4. Marco teórico

4.1. Origen

Tradicionalmente se ha sostenido que el punto de origen de la domesticación del cacao se encontraba en Mesoamérica entre México, Guatemala y Honduras, donde su uso está atestiguado alrededor de 2000 años antes de Cristo. No obstante, estudios recientes demuestran que por lo menos una variedad de *Theobroma Cacao* tiene su punto de origen en la Alta Amazonía Ecuatoriana y que ha sido utilizada en la región por más de 5000 años (Anecacao, 2015).

4.2. Distribución

Este cultivo tiene su cultivar principalmente en África del Oeste, América Central, Sudamérica y Asia. Según la producción anual, recogida por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD) para el año agrícola 2005/06, los ocho mayores países productores del mundo son (en orden descendente) Costa de Marfil (38 %), Ghana (19 %), Indonesia (13 %), Nigeria (5 %), Brasil (5 %), Camerún (5 %), Ecuador (4 %) y Malasia (1 %). Estos países representan el 90 % de la producción mundial (Cacaomexico, 2017).

Los principales productores son también los mayores exportadores, con excepción de Brasil y Malasia cuyo consumo interno absorbe la mayor parte de su producción. En América Latina, por ejemplo, las exportaciones de cacao de República Dominicana superan a las de Brasil (Cacaomexico, 2017).

4.3. Importancia del cacao

La importancia de la producción de cacao en Ecuador evidencia que es el cultivo permanente con mayor superficie destinada para su producción, cubriendo un poco más de 31 % de la superficie del país dedicada a cultivos permanentes que totalizaba 1.57 millones de ha en 2014. De las 487 mil ha de cacao existentes en 2014, el 82 % fue producción exclusiva de cacao y 18 % correspondió a cacao asociado con otros cultivos. Al observar la evolución de la superficie sembrada de cacao en el país se aprecia una significativa tendencia creciente, particularmente acelerada entre 2004 y 2011 (ESPAE, 2016).

La producción de cacao y la exportación de sus granos ha sido una actividad económica de significativa tradición e importancia para diversas zonas de la Costa ecuatoriana. Aunque en la actualidad su magnitud es menor a la que tuvo a inicios del siglo pasado,

continúa representando un cultivo destacado en la producción agrícola del país, contando además con un producto altamente posicionado en el mercado internacional de cacao finos o de aroma, como el reconocido cacao Nacional (o “arriba superior”) (ESPAE, 2016)

4.4. Taxonomía

Batista (2009) al referirse a la clasificación indica que queda de la siguiente manera:

- **Reino:** Plantae
- **Tipo:** Magnoliophyta
- **Clase:** Magnoliopsida
- **Orden:** Malvales
- **Familia:** Sterculiaceae
- **Género:** *Theobroma*
- **Especie:** *Theobroma cacao* L.
-

4.5. Morfología

- **Planta**

Árbol de tamaño mediano (5-8 m) aunque puede alcanzar alturas de hasta 20 m cuando crece libremente bajo sombra intensa. Su corona es densa, redondeada y con un diámetro de 7 a 9 m. Tronco recto que se puede desarrollar en formas muy variadas, según las condiciones ambientales (Barros Nieves, 2015).

- **Ramas**

Las ramas del árbol crecen verticalmente (tallo y chupones) y las otras oblicuamente. Las plantas provenientes de semilla, crecen como un solo tallo hasta 1.50 m de altura. Aquí, la yema terminal detiene su crecimiento y emergen de tres a cinco ramas laterales que se denomina horqueta. Se muestran árboles provenientes tanto de semilla como de estaca, observándose la buena distribución de las ramas del área de producción en el proveniente de estaca (Barros Nieves, 2015).

El cacao tiene dos tipos de ramas; el primero es de tipo vertical también conocido como chupón, el cual incluye el eje principal de las plantas producidas por las semillas, tiene hojas alternas en espiral de 3/8 y se limita en su crecimiento ya que tarde o temprano siempre da origen a un abanico terminal; y segundo está el tipo de abanico que tiene hojas

alternas en $\frac{1}{2}$ que crecen indefinidamente, dando origen a ramas laterales de su mismo tipo (Torres, 2012).

- **Sistema radicular**

Las plantas provenientes de semilla tienen raíz pivotante, mientras que las provenientes de estacas el sistema radical es en forma de abanico. Las raíces secundarias se extienden a distancia de cinco y seis metros del tronco y crecen horizontalmente (Barros Nieves, 2015).

- **Hojas**

La hoja del cacao tiene dos estípulas que se desprenden tempranamente, un peciolo conspicuo y el limbo. El limbo contiene tres capas de células de empalizada en la cara superior y una capa de igual espesor de tejido esponjoso de la cara inferior (Barros Nieves, 2015).

- **Flores**

Las flores nacen directamente en la madera vieja del tallo principal y de las ramas laterales, es decir, son caulifloras. La inflorescencia se origina en la yema axilar de una hoja caída. El cáliz está formado por cinco sépalos blancos o ligeramente rosados (Barros Nieves, 2015).

- **Fruto**

El fruto del cacao se llama mazorca y botánicamente es una baya o una sub-baya. El tamaño varía de 10 a 35 centímetros de longitud con peso que va desde 200 hasta 1000 gramos o más (Barros Nieves, 2015).

- **Semilla**

El número, tamaño y forma de las semillas dependerá de la variedad; las semillas son de forma aplanada o redonda de 2 cm a 4 cm de tamaño, están ubicadas en cinco hileras dentro del fruto (Torres, 2012).

La madurez fisiológica de la semilla se alcanza incluso mucho antes de que el fruto esté maduro, es decir, se extraen granos de una mazorca recolectada antes de su madurez, cuando la pulpa que los rodea es aún compacta y dura, puede germinar sin dificultad. El grano de cacao es muy rico en materia grasa: su contenido en manteca de cacao de las habas aún no fermentadas y secadas es generalmente superior al 50 % y puede alcanzar hasta el 55 % (Eguiguren & Carmona, 2012).

4.6. Condiciones edafoclimáticas

- **Exigencias en clima**

Los factores climáticos críticos para el desarrollo del cacao son la temperatura y la lluvia. A estos se le unen el viento y la luz o radiación solar. El cacao es una planta que se desarrolla bajo sombra. La humedad relativa también es importante ya que puede contribuir a la propagación de algunas enfermedades del fruto. Estas exigencias climáticas han hecho que el cultivo de cacao se concentre en las tierras bajas tropicales (Omaña, 2009).

- **Temperatura**

El cacao no soporta temperaturas bajas, siendo su límite medio anual de temperatura los 21 °C ya que es difícil cultivar cacao satisfactoriamente con una temperatura más baja. Las temperaturas extremas muy altas pueden provocar alteraciones fisiológicas en el árbol por lo que es un cultivo que debe estar bajo sombra para que los rayos solares no incidan directamente y se incremente la temperatura. La temperatura determina la formación de flores. Cuando ésta es menor de 21 °C la floración es menor que a 25 °C, donde la floración es normal y abundante. Esto provoca que en determinadas zonas la producción de mazorcas sea estacional y durante algunas semanas no haya cosecha, cuando las temperaturas sean inferiores a 21 °C (Omaña, 2009).

- **Agua**

El cacao es una planta sensible a la escasez de agua, pero también al encharcamiento por lo que se precisarán de suelos provistos de un buen drenaje. Un anegamiento o estancamiento puede provocar la asfixia de las raíces y su muerte en muy poco tiempo. Las necesidades de agua oscilan entre 1500 y 2500 mm anual en las zonas bajas más cálidas y entre 1200 y 1500 mm anual en las zonas más frescas o los valles altos (Omaña, 2009).

- **Viento**

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 (Omaña, 2009).

- **Exigencias en suelo**

El cacao requiere suelos muy ricos en materia orgánica, profundos, francos arcillosos, con buen drenaje y topografía regular. El factor limitante del suelo en el desarrollo del cacao es la delgada capa húmica. Esta capa se degrada muy rápidamente cuando la superficie del suelo queda expuesta al sol, al viento y a la lluvia directa. Por ello es común el empleo de plantas leguminosas auxiliares que proporcionen la sombra necesaria y sean una fuente constante de sustancias nitrogenadas para el cultivo. Las plantaciones están localizadas en suelos que varían desde arcillas pesadas muy erosionadas hasta arenas volcánicas recién formadas y limos, con pH que oscilan entre 4,0 y 7,0. Se puede decir que el cacao es una planta que prospera en una amplia diversidad de tipos de suelo (Omaña, 2009).

- **pH**

El pH de la planta de cacao para su máximo desarrollo debe encontrarse en un rango de 6,0 a 6,5, ya que es una de las características más importantes del suelo porque ayuda a regular la descomposición de la materia orgánica; sin embargo, la planta de cacao también se adapta a rangos extremos de pH que oscilan de los 4,5 hasta los 8,5 donde su producción es muy deficiente (Quevedo & Noles, 2020).

- **Luminosidad**

La intensidad de la luz es otro factor determinante en el cultivo del cacao, especialmente porque influye en la fotosíntesis. En etapas de establecimiento del cultivo se recomienda la siembra de otras plantas que permitan proporcionar sombra como un requisito fundamental que regule la luminosidad, debido que las plantas de cacao en estas etapas son muy susceptibles a la acción directa de los rayos solares. Por ello, se recomienda una intensidad lumínica más o menos al 50 % los 4 primeros años de vida de las plantas, para que estas alcancen un buen desarrollo y limiten el crecimiento de las malas hierbas (Anacafé, 2004).

4.7. Variedades tipo nacional

- **Forastero**

Esta es la variedad más común, pero también la más robusta y la que da más cantidad de frutos. Produce el grano menos aromático. Es un árbol que introdujeron los europeos en los territorios colonizados cuando la demanda de chocolate aumentó considerablemente a principios del siglo XX. Es cultivado principalmente en: Perú, Ecuador, Colombia,

Brasil Guayanas e incluso Venezuela. Igualmente, en Costa de Marfil, Ghana, Camerún y Santo Tomé. También hay plantaciones en el sudeste asiático. Este cacao tiene un sabor fuerte y amargo, ligeramente ácido. Con mucho tanino y astringencia Tienen una gran potencia aromática, pero sin finura ni diversidad de sabores. Su producción alcanza el 70 % del total mundial (Vera, 2017).

- **Criollo**

Se obtiene el cacao de mayor calidad, pero su producción representa menos de un 10 % del total mundial. Es cultivado principalmente en México, Guatemala y Nicaragua en pequeñas cantidades, y en mayores cantidades en Ecuador, Venezuela, Colombia, islas del Caribe, Trinidad, Jamaica e isla de Granada. En Madagascar, Java e islas Comores. Es un cacao de aromas afrutados, de intensidades medias, con notas de frutos secos y ligeramente amargo, pero refinado. Es muy apreciado para los chocolates de mayor calidad. Con esta variedad, se elaboran refinados bombones y piezas de artesanía repostería y chocolates varietales para su degustación y cata (Vera, 2017).

- **Trinitario**

Es un híbrido de las plantas de criollo y forastero, combinando las características gustativas y olfativas de ambos. Este contiene un amplio rango de sabores, aromáticos y persistentes en el paladar. Pueden apreciarse sabores a heno, roble miel, manzana y melón. Actualmente representan el 20 % de la producción mundial (Vera, 2017).

- **Cacao CCN 51**

CCN 51 (Colección Castro Naranjal) es un clon obtenido del cruce de dos variedades como son el Trinitario y Forastero (Soletto, 2012); es de origen ecuatoriano, declarado mediante acuerdo ministerial una variedad con una alta productividad, Este cultivar es precoz produce después de 2 años de trasplantado, sus almendras tienen un alto contenido de grasa (54 %) y un alto peso promedio de grano (Anecacao, 2015).

- **Cacao fino de aroma**

También conocido como fino y de aroma tiene características distintivas de aroma y sabor. Ecuador, por sus condiciones geográficas y su riqueza en recursos biológicos, es el productor por excelencia del cacao fino y de aroma, el chocolate fino se distingue por su pureza, específicamente, el sabor y fragancia que el cacao tiene y es utilizado en los chocolates refinados, considerado como un producto tradicional y emblemático del Ecuador, Por sus fragancias y sabores frutales y florales (Cocoaecuador, 2017).

Según el tipo de cacao las mazorcas son de color amarillo, blanco, verde o rojo. El grano está cubierto de una pulpa rica en azúcar con la que se puede hacer jugo y el grano transformado en chocolate tiene un agradable sabor (Cocoaecuador, 2017).

- **EETP 800**

El bajo rendimiento es una de las principales limitantes que impide mejorar la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.). El promedio mundial, de alrededor de 0.5 t ha⁻¹, se atribuye principalmente a la escasez de materiales genéticos productivos; sin embargo, existen excepciones como el clon ecuatoriano CCN 51, cuya productividad oscila entre 1 y 2 t ha⁻¹, dependiendo del nivel de tecnificación (Amores, 2019).

Entre 1997 y 1999, la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) del INIAP Ecuador, después de algunas estrategias genéticas para obtener nuevos híbridos segregantes de cacao se establecieron experimentos de campo en aproximadamente 10 ha donde se evaluó el individuo cada seis meses. De la cruce CCN 51 × EET 233, la planta ‘E5/T1/R2/A3’ destacó por su productividad y se clonó para posteriores evaluaciones de progenies. A partir de marzo del año 2008, durante cuatro años, se evaluaron 28 clones promisorios y los testigos comerciales EET-103 y CCN 51, con lo que se confirmó la superioridad del clon ‘E5/T1/R2/A3’ (T1) (Amores, 2019).

El clon T1 recibió el Número de Registro XX-19 con la denominación INIAP-EETP-800 “Aroma Pichilingue” y se liberó comercialmente en octubre del año 2016 (Amores, 2019).

Las principales características de este clon son: crecimiento semi-erecto, floración en el primer y tercer trimestre del año, mazorca inmadura color verde y amarilla en su madurez fisiológica autocompatible, producción precoz (14 meses), índice de mazorca de 18, promedio de 46 semillas por mazorca e índice de semilla de 1.40, que según, le ubica en la categoría Arriba Superior Summer Selecta (ASSS) (Amores, 2019).

El rendimiento promedio acumulado del año 2011 (36 meses después de la siembra) fue de 2.73 kg de cacao seco por planta. En febrero del año 2012, se establecieron parcelas semi-comerciales de aproximadamente 1 ha en tres zonas cacaoteras del país, para evaluar y validar el comportamiento de este clon y otros genotipos promisorios (Vera, 2017).

Este clon tiene un rendimiento promedio de 2 t de cacao seco ha año⁻¹, el cual puede incrementarse hasta llegar a sobrepasar las 2,5 t de cacao seco ha año⁻¹, dependiendo del nivel de tecnología que se le aplique al cultivo (fertilización, fertirriego, etc.)

Pruebas experimentales en diferentes zonas productoras de cacao demostraron que los clones INIAP-EETP-800 e INIAP-EETP-801 presentan un alto grado de adaptación en la parte media y alta de la cuenca del río Babahoyo, nor-occidente de Pichincha y norte de Guayas, hasta una altura máxima de 600 msnm, zonas donde el potencial genético de los mencionados clones expresa su mejor comportamiento comercial (INIAP, 2017).

Los nuevos clones INIAP-EETP-800 e INIAP-EETP-801 disponen de un perfil sensorial que los ubica dentro de los llamados cacaos finos y de aroma. La expresión del aroma y sabor característico para cada uno de ellos, está supeditado al tipo de tratamiento post cosecha que se les otorgue y a las instalaciones con las que se cuente para este fin. Entre las tecnologías desarrolladas y disponibles están: el pre-secado, fermentación cuyo tiempo está en dependencia del volumen (3-4 días) y de las facilidades con las que se cuenta (sacos, cajones, montón, etc.), Secado: ya sea natural, con libre exposición al sol, cuyo tiempo puede variar (4-8 días) en dependencia de la intensidad solar y de las instalaciones (tendal, marquesina, etc.) (INIAP, 2017).

Distanciamiento de siembra

Puede ir desde 2,5 x 2,5 m hasta 4 x 4 m, ya sea en cuadrado “cuatro vientos”, triángulo “tres bolillos” o dobles hileras con calles de trabajo. La decisión final estará en función del tipo de terreno, superficie a sembrar, capacidad económica y nivel de intensificación de la producción (INIAP, 2017).

Análisis de suelos

Permitirá aplicar un plan de nutrición adecuado. De esta manera, aportará a su cultivo las cantidades necesarias de macronutrientes y micronutrientes, para optimizar la producción (INIAP, 2017).

Manejo agronómico y sanitario

Estos clones son precoces, inician su fase productiva a partir de los 15 meses después de la siembra. Con el propósito de permitir un adecuado desarrollo del cultivo, reducir la incidencia de enfermedades y alcanzar altos niveles de producción sostenido a través del tiempo (INIAP, 2017).

Riego

Durante la época seca, siguiendo los patrones de evapotranspiración de la zona. La optimización del factor riego, en relación a la frecuencia y láminas de agua, tiene potencial de incrementar el rendimiento en más del 15 % (INIAP, 2017).

Fertilización

Para un óptimo desarrollo de las plantas y alta producción se recurre a la implementación de fertilizantes, pero antes de indicar un programa de fertilización se debe realizar un análisis general del suelo para conocer el nivel de fertilidad del mismo y de esta manera evitar deficiencias o toxicidad. También se debe contar con un sistema de riego eficiente que permita disolver los fertilizantes y poder ser tomados a través del sistema radicular para luego ser transportados por toda la estructura de la planta. El cacao requiere de macroelementos como el Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S); también microelementos como son Boro (B), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), entre otro. Un aporte equilibrado por hectárea de (N, P, K y Ca) garantizan una plantación vigorosa, mejor fitosanidad y aumento en el rendimiento (Borrero, 2009).

4.8. Nutrición

Estudios realizados en Ecuador por Sánchez-Mora *et al.* (2015), nos dan a conocer que en clones de cacao se puede llegar a encontrar información como que en la mayoría de los clones evaluados mostraron el mayor uso de NPK eficacia con la dosis: nitrógeno: 74 kg ha⁻¹, fósforo: 37 kg ha⁻¹ y potasio: 148 kg ha⁻¹ en las condiciones de la zona experimental. CCN-51 tuvo un evidente, mayor capacidad para el uso eficiente de los nutrientes, lo que permite obtener los rendimientos máximos, lo que sugiere una fuerte influencia de su genotipo. Es necesario determinar el nivel de eficiencia uso de nutrientes para cada área de cultivo de cacao con el fin de obtener mejores ingresos y mitigar la contaminación ambiental.

Para poder comprender de una mejor manera la fertilización en cacao tenemos la información que nos brinda Fernández (2016), donde expresa que la dinámica nutricional de N, P y K cambió en relación a los tratamientos implementados. Así, la dinámica del N en cacao se relacionó con su concentración en el sustrato y mostró un valor crítico en términos de tejido foliar (23,89 mg g⁻¹) por encima del cual el consumo no fue eficiente.

La dinámica del P en cacao se modificó con la relación N/P₂O₅ (disponibles) en el suelo que fue más favorable en un valor de 1,58. La dinámica del K en cacao se modificó con la relación entre las BTI (bases totales intercambiables) y entre estas y el N en el suelo (Fernández, 2016).

Para empresas como Agrocalidad (2015), dicen que una buena fertilización se aplica ajustándose a la recomendación del análisis del suelo o foliar, hasta que el árbol de cacao haya cumplido su ciclo productivo. Los niveles de potasio alto, Fosforo medio y Nitrógeno bajo, son característico de los suelos cacaoteros del país.

La dosis recomendada por esta empresa es 60-90-60 de NPK con una dosis de 50 g por planta en el primer año del cultivo y 60-90-60 de NPK con una dosis de 80 g por planta en el segundo año y los siguientes años. Luego del segundo año de producción hay que realizar la aplicación anual de la formulación recomendada del análisis del suelo o foliar (Agrocalidad, 2015).

4.9. Cambios morfológicos

4.9.1. Fenología

Niemenak *et al.* (2001) indican que las etapas de crecimiento fenológico y claves de identificación de BBCH extendidas de la planta de cacao son las siguientes:

Etapas de crecimiento principal 0: germinación de semillas / propagación vegetativa

Código

Dos Dígitos	Tres Dígitos	Descripción
00	000	semillas frescas / esquejes ortotrópicos con cuatro o cinco hojas medio recortadas
01	001	imbibición de semillas / esquejes plantados en medios de enraizamiento; sin callos visibles
02		Protuberancia de la radícula a través de la capa de la semilla / La formación del callo comienza en los esquejes ortotrópicos; la raíz del golpecito (emergencia)
03		Hipocótilo visible; alargamiento de la radícula/Iniciación del crecimiento horizontal de las raíces primarias
05		Primeras raíces laterales visibles/Orientación vertical del crecimiento de la raíz primaria
07		El hipocótilo forma un gancho; el cotiledón emerge del suelo/ brotes terminales o laterales de los cortes ortotrópicos se rompen

09	009	Elongación del hipocótilo completada; los cotiledones están en posición vertical, pero aún desplegados/Crecimiento de la terminal o los brotes laterales en un brote principal vertical
----	-----	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Etapa de crecimiento principal 1: desarrollo de las hojas en el brote principal de la planta joven y en las ramas de abanico

Código

Dos Dígitos	Tres Dígitos	Descripción
10	100	Cotiledón completamente desplegado
		Las estípulas que rodean el brote terminal en el brote principal o las ramas en abanico se separan y el brote se hincha.
11	110	Hoja desplegándose en la primera descarga. Las hojas son de color verde pálido o rojo
	111	La expansión de la hoja es el 10% del tamaño final (emergencia)
	112	La expansión de la hoja es el 20% del tamaño final
	115	La expansión de la hoja es el 50% del tamaño final
	119	El crecimiento de la primera escalera está completo. Las hojas son de color verde oscuro con una superficie máxima
12	120	La hoja se despliega en la segunda descarga. Las hojas son de color verde pálido a rojo
	121	La expansión de la hoja es el 10% del tamaño final
	122	La expansión de la hoja es el 20% del tamaño final
	125	La expansión de la hoja es el 50% del tamaño final
	129	El crecimiento de la segunda escalera se ha completado
19	190	Nueve o más rubores completamente maduros

Etapa de crecimiento principal 2: alargamiento del tallo principal, formación de la de ramas de abanico y chupón

Código

Dos Dígitos	Tres Dígitos	Descripción
20	200	El brote derivado de la planta de semillero muestra un 10% de crecimiento.
11	202	Dispara con un 20% de crecimiento

	203	Disparo con un 30% de crecimiento
	205	Dispara con un crecimiento del 50%
	209	El brote alcanza su madurez fisiológica y el crecimiento de su meristemo apical se detiene
21	210	El primer chupón aparece bajo la primera jorqueta con un 10% de crecimiento
	211	El primer chupón aparece bajo la primera jorqueta con un 10% de crecimiento
	212	Primer chupón con un 20% de crecimiento
	215	Primer chupón con un 50% de crecimiento
	219	El primer chupón alcanza su madurez fisiológica y el crecimiento de su meristemo apical se detiene
22	220	Formación de la segunda jorqueta y posteriormente del segundo chupón
	221	El segundo chupón aparece bajo la primera jorqueta con un 10% de crecimiento
	222	Segundo chupón con un 20% de crecimiento
	223	Segundo chupón con un 50% de crecimiento
	229	El segundo chupón alcanza su madurez fisiológica y el crecimiento de su meristemo apical se detiene
23	230	Formación de la tercera jorquete y posteriormente del tercer chupón
	231	El tercer chupón aparece bajo la tercera jorqueta con un 10% de crecimiento
	232	Tercer chupón con un 20% de crecimiento
	233	Tercer chupón con un crecimiento del 50%
	239	El tercer chupón alcanza su madurez fisiológica y el crecimiento de su meristemo apical se detiene
29	290	Formación de una novena o más jorquitas y posteriormente una novena o más chupones
	291	Novena o más chupón aparece bajo la novena jorquete con un 10% de crecimiento
	292	Novena o más chupón con un 20% de crecimiento
	293	Novena o más chupón con un 30% de crecimiento
	295	Novena o más chupón con un 50% de crecimiento
	299	El último chupón alcanza su madurez fisiológica y el crecimiento de su meristemo apical se detiene

Etapa de crecimiento principal 3: alargamiento de la rama de abanico

Código

Dos Dígitos	Tres Dígitos	Descripción
31	301	Jorqueta de ramas de abanico primario visible
32	302	Rama de ventilador primario con 20 ramas de ventilador secundario
35	305	Rama de ventilador primario con 50 ramas de ventilador secundario

5. Metodología

5.1. Ubicación del estudio

El ensayo se estableció en la provincia de Zamora Chinchipe, cantón Yantzaza, en la Estación Experimental El Padmi de la Universidad Nacional de Loja (Figura 1).

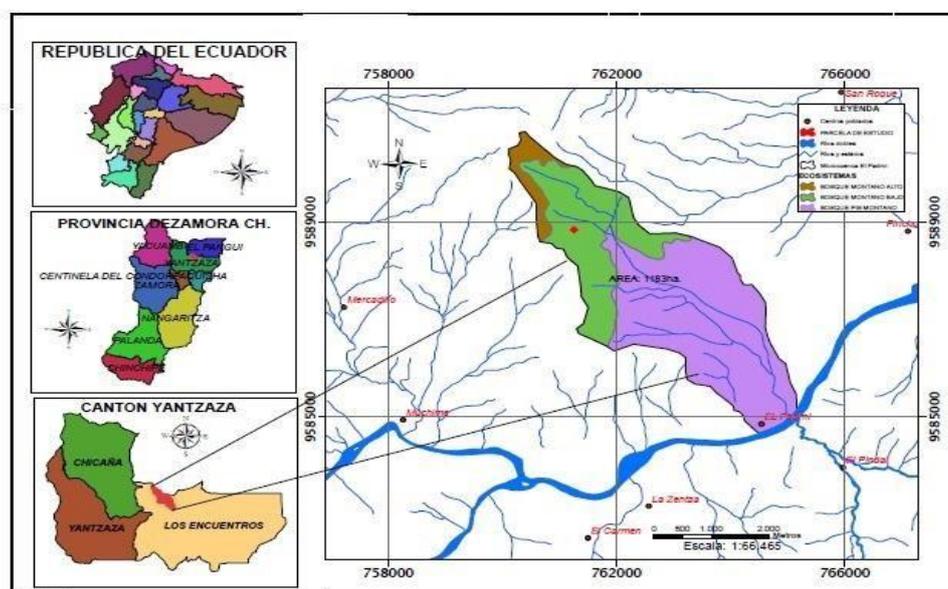


Figura 1. Mapa de ubicación del sitio de estudio en el PADMI

5.2. Datos climáticos y edáficos

La ubicación geográfica corresponde a $3^{\circ}51'S$ $78^{\circ}45'O$, con una altitud media de 820 msnm. Este clima es considerado Af (ecuatorial, cálido y lluvioso todo el año, sin estaciones) según la clasificación climática de Köppen-Geiger. La temperatura media anual en Yantzaza se encuentra a $22,7^{\circ}C$. Precipitaciones promedios de 1959 mm, las cuales se reparten de forma homogénea durante todo el año, siendo el mes más seco en agosto con 132 mm, y el mes más húmedo abril, promediando 212 mm (Climate-data.org, 2019).

La estación experimental el Padmi presenta un suelo franco-arcilloso, con 4,0 % - 7,0 % de materia orgánica – medio alto y pH ácido de 5,5 (Ambar , 2016).

Los contenidos nutricionales del suelo de la estación experimental El Padmi se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados del análisis de suelo El Padmi realizados en el INIAP de Santa Catalina.

Nutrientes										
N	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
Ppm			ppm			Ppm				
73,00	16,00	5,80	136,8	2485	267	4,10	1,40	254,00	30,50	0,10

Tabla 2. Resultados pH y conductividad eléctrica del suelo del Padmi realizados en el INIAP de Santa Catalina.

Acidez Int. (Al+H)	Al	Na	CE
meq/100 ml			mmhos/cm
Adecuado			No salino

Tabla 3. Resultados de capacidad de intercambio catiónico y concentración de bases del suelo del Padmi realizados en el INIAP de Santa Catalina.

Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	(meq/100ml) /ε Bases
5,6	6,3	41,7	14,9

Capacidad de intercambio catiónico						
K	Ca	Mg	Na	Suma de bases	Saturación de bases	CIC
meq/100 g suelo					%	meq/100 g suelo
0,70	12,7	3,12	0,25	16,8	98,8	17,0

5.3. Establecimiento del cultivo

La variedad sembrada fue el cultivar cacao EETP 800 “Fino de Aroma Pichilingue” el proyecto comenzó con una plantación ya establecida de la variedad, dichas plantas presentaron un año y medio de edad. El terreno constó de 3780 m² dentro del cual están sembradas un total de 270 plantas a un marco de plantación de 3,5 por 4 metros, el estudio constó con un total de 15 plantas a las cuales se les aplicó tres tratamientos relacionados con niveles de fertilización. Se consideró a una planta como unidad experimental, por lo que se trabajó con 5 repeticiones por tratamiento distribuidos aleatoriamente dentro del terreno.

Para realizar el cálculo de los niveles de nutrición se tuvo en cuenta los parámetros físicos químicos que presentó el suelo en la zona de estudio y los requerimientos del cultivo en fase vegetativa de las plantas de cacao en la estación experimental el Padmi, con condiciones de humedad relativamente altas. Los tratamientos comprendieron tres niveles de fertilización, de los cuales el tratamiento uno fue utilizado como testigo.

El tratamiento dos fue al 100 % de nutrición, dosificados teniendo en cuenta los requerimientos del cultivo de cacao y el déficit según el análisis de suelo. Este constó de la aplicación de 42 kg de azufre, 4 kg de boro, 136 kg de nitrógeno, 14 kg de fósforo, 156 kg de potasio, 113 kg de calcio y 47 kg de magnesio.

Por último, al tratamiento tres se le aplicó el 200 % de nutrición, el cual es el doble de lo que se le aplicó al tratamiento dos en macronutrientes tales como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. Este tratamiento se tomó en cuenta ya que en la zona muestra precipitación alta y ayudará a que la eficiencia del cultivo no sea muy baja, asimismo estuvo acompañado de la aplicación de la corrección de déficit de nutrientes en el suelo. Estos tratamientos fueron aplicados igualmente a las cinco repeticiones.

5.4. Diseño experimental

Fue un diseño completamente al azar, unifactorial (niveles de fertilización: tres) con 5 repeticiones cada tratamiento. El diseño está estructurado de esta manera:

- **Unidad experimental:** 1 planta
- **Tratamientos:** 3
 - T1= 0 Nutrición (testigo)
 - T2= 100% Nutrición (corrección según análisis de suelo y requerimientos nutricionales del cultivo)
 - T3= 200% Nutrición (el doble de los requerimientos nutricionales del cultivo)
- **Repeticiones:** 5 por tratamiento
- **Variedad:** EETP 800
- **Número de unidades experimentales:** 15
- **Número total de plantas:** 15

5.5. Esquema del diseño experimental en campo

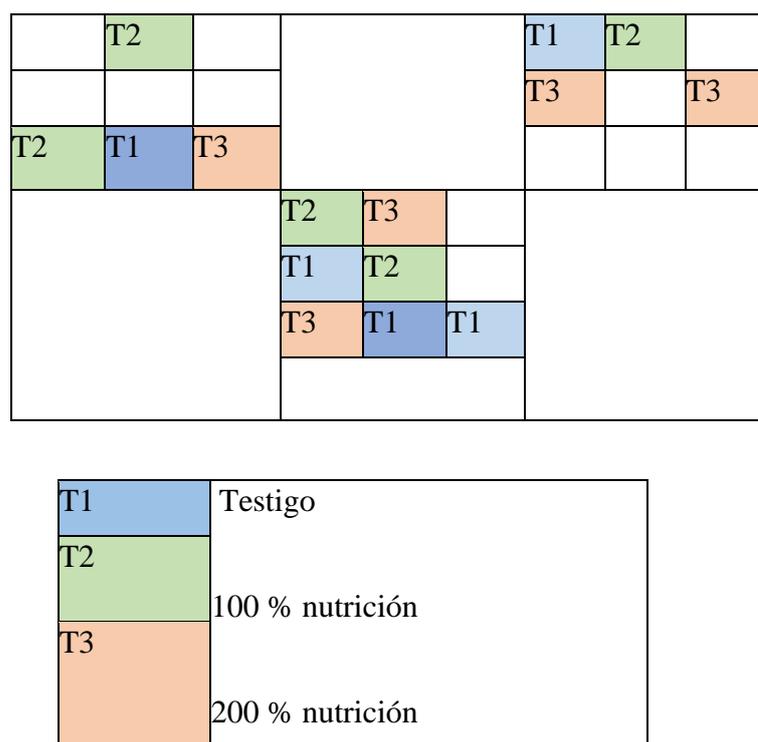


Figura 2. Esquema del diseño experimental de cacao variedad EETP 800

5.6. Análisis estadístico

Para la interpretación de datos de las variables morfológicas vegetativas del cacao EETP 800 se utilizó un análisis de varianza, análisis de correlación, análisis de regresión y por último análisis multivariados utilizando el software InfoStat, y el programa estadístico utiliza las siguientes formulas:

ANOVA: (Factor) $GL = r - 1$. Error $GL = n_T - r$. Total $= n_T - 1$.

$$\text{Análisis de correlación: } r = \frac{\sum[(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 * \sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

(Portal de formación estadística, 2022)

5.7. Metodología para el primer objetivo

Evaluar el efecto de la nutrición sobre el crecimiento vegetativo del cacao variedad EETP800

A partir de un análisis de suelo, se determina el déficit nutricional que posee el suelo de la estación Experimental el Padmi de la Universidad Nacional de Loja en comparación a las necesidades nutricionales del cultivo de cacao.

Para el análisis de suelo se tomó muestras aleatoriamente, la misma que fue enviada al INIAP Santa Catalina para su análisis, con los datos del análisis de suelo se calculó y aplicó tres dosis de fertilización.

Durante la aplicación de los fertilizantes se procedió a medir las diferentes variables morfológicas como:

5.7.1. Altura de la planta.

Este indicador se midió mensualmente con flexómetro desde el cuello o base de la planta hasta el ápice más alto de la planta y se expresa en centímetros.

5.7.2. Área foliar

Al quinto mes de la aplicación de los tratamientos, y por única vez, se seleccionó 20 hojas de cacao al azar para obtener una función que estime el área foliar. Para lo cual se midió largo y ancho con una cinta en centímetros, y a las mismas hojas por medio de fotografía y software photoshop se determinó su área foliar. Este proceso se realizó una sola vez y con estos datos, se obtuvo la ecuación de regresión con mayor ajuste para estimar el área Foliar.

5.7.3. Área de sección transversal del tronco ASTT.

Se midió el perímetro del tronco a cinco centímetros desde el suelo con una cinta métrica, a partir del cual se calculó su área, utilizando la fórmula: $ASTT = C^2/4\pi$. Donde, C= circunferencia del tronco (cm) y π = valor pi constante.

Esta medición se realizó al inicio del ensayo y otra a los cinco meses, y se expresa en cm.

5.7.4. Longitud de brote.

Se seleccionó y etiquetó dos brotes por planta posicionados en el tercio medio de la altura de la planta, las mismas que fueron de la temporada, para medir su crecimiento longitudinal en centímetros. Esta medición se realizó cada 20 días desde el día 1 de iniciada la evaluación.

5.7.5. Longitud y número de metámeros.

En los brotes seleccionados, se cuenta el número de entrenudos y en base a su longitud total, por división, se obtuvo una longitud promedio de metámero en el brote. Esta medición se realizó con flexómetro en centímetros, al final o meristemo de cada brote seleccionado (flush de crecimiento).

5.7.6. Longitud de entrenudos.

De los brotes ya seleccionados se procedió a medir la distancia entre ellos y seguido se sacó un promedio de la suma de la distancia de los brotes seleccionados, para ello se utilizó un flexómetro.

5.7.7. Tasa de crecimiento absoluta TCA.

A los brotes marcados para la longitud se les determinó la TCA para observar el incremento de longitud del órgano por unidad de tiempo mediante la siguiente fórmula (Bastías *et al.* 2014).

$$TCA = \Delta L / \Delta t$$

Donde:

ΔL : incremento de longitud.

Δt : incremento de tiempo.

5.7.8. Tasa de crecimiento relativa TCR.

Sobre los brotes marcados para longitud se determinó la TCR que corresponde al incremento de longitud por unidad de tamaño y por unidad de tiempo, se usa la siguiente fórmula (Bastías *et al.* 2014).

$$TCR = (1/L_i) * (\Delta L / \Delta t)$$

Donde:

L_i : Longitud inicial.

ΔL : incremento de longitud.

Δt : incremento de tiempo.

5.7.9. Índice de área foliar (IAF).

Con el uso de estimaciones alométricas y considerando el área foliar obtenida previamente, se determinó el área total de la cobertura foliar para el IAF, el cual, indica la relación entre el área foliar total y la superficie del suelo que ocupa dicha área, la cual al dividir Área Área⁻¹ es adimensional (no presenta unidades). Su cálculo se realizó con la fórmula: IAF= área foliar/superficie del suelo (Poblete, 2015).

5.8. Metodología para el segundo objetivo.

Analizar las características fisiológicas que explican el crecimiento vegetativo en función de la nutrición

El presente objetivo realizó la medición de diferentes variables fisiológicas las cuales se detallan a continuación:

5.8.1. Medición del pH del suelo.

Se extrajo una cantidad de 200 g de suelo de cada uno de los tratamientos a 20 cm de radio desde la planta a 5 cm de profundidad y se llevó etiquetado al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Loja para proceder a medir una cantidad definida de suelo seco y molido

Después se procedió a calcular el pH del suelo con un Peachímetro.

5.8.2. Conductividad eléctrica.

Se evaluó la conductividad eléctrica cada mes de una cantidad de 200 g de suelo a 20 cm de profundidad, seguidamente esto se llevó al laboratorio que junto con el pH se calculaba la conductividad eléctrica mediante el conductímetro, se añade 100 ml de agua a temperatura 20 °C (+/- 1 °C) y se agita durante 30 minutos luego se Filtra a través de papel de filtro y se mide con el conductímetro.

5.8.3. Densidad estomática

Se tomaron 12 hojas, tres por cada tratamiento, esta variable se midió mediante la técnica de la impronta descrita por (Barrientos *et al.* 2003), la cual consistió en utilizar una fina capa de esmalte para uñas transparente en un área pequeña en el envés de la hoja, después que el esmalte se secó, la capa se removió y montó en un portaobjetos. Se tomaron dos muestras de cada hoja, en la región de la parte central entre las venas secundarias. Las muestras se observaron en el microscopio OLYMPUS CX31 con un aumento de 10X y mediante el uso del programa Micro Cam Ver 5.7 se procedió a fotografiar 6 campos por muestra, luego para el conteo de estomas se procedió a marcar en cada fotografía un área de 120 000 μm^2 , siendo ésta el área de conteo, el dato final se expresó en número de estomas por mm^2

5.8.4. Concentración de clorofila.

Se utilizó el siguiente protocolo de análisis de clorofila por espectrofotometría (Ruiz Santiago *et al*, 2019), como muestra se tomó hojas totalmente funcionales una sola vez al final de la evaluación, para luego cortar en secciones sin nervadura.

Para la extracción de pigmentos se pesó 9,5 g de hoja, introduciéndose la muestra en tubos de ensayo con 6 ml de cianol al 59 %, de modo que los segmentos quedaron sumergidos en el solvente orgánico, posteriormente se llevó a la incubadora por 21 min a baño maría a 80°C para que los pigmentos fotosintéticos (Clorofilas) salgan y se disuelvan en el solvente, al culminar este tiempo los segmentos quedan totalmente descolorados y el solvente de color verde.

Los tubos de ensayo se envolvieron en papel aluminio para evitar la penetración de los rayos solares, finalmente se sacó los restos de la muestra de los tubos, se filtraron y se centrifugaron.

Para cuantificar se tomó 1 ml del sobrenadante de cada uno de los sustratos y se diluyó hasta 10 ml con el solvente utilizado y se midió en el espectrofotómetro. El blanco fue el solvente utilizado, el cual se mantuvo completamente cerrado para evitar que se volatilice. Según Mackilley (2000), las ondas para medir la cantidad la absorbencia es 645 y 663 nm, de igual manera se utiliza las siguientes fórmulas:

- **Clorofila A:**

$$\begin{aligned} & \text{CA (ml/g)} \\ &= \frac{[(12.7 \cdot A_{663}) - (2.69 \cdot A_{645})] \cdot \text{vol del extracto (ml)}}{\text{peso de la hoja (g)}} \end{aligned}$$

- **Clorofila B:**

$$\begin{aligned} & \text{CB (ml/g)} \\ &= \frac{[(22.9 \cdot A_{645}) - (4.68 \cdot A_{663})] \cdot \text{vol del extracto (ml)}}{\text{peso de la hoja (g)}} \end{aligned}$$

- **Clorofila Total:**

$$\begin{aligned} & \text{C total (ml/g)} \\ &= \frac{[(20.2 \cdot A_{645}) + (8.02 \cdot A_{663})] \cdot \text{vol del extracto (ml)}}{\text{peso de la hoja (g)}} \end{aligned}$$

5.8.5. Análisis bromatológicos

Se determinó la humedad por estufa hasta obtener peso constante, materia seca, proteína bruta mediante el método Kjeldahl y cenizas por incineración, para hojas, empleando la metodología del Laboratorio de Bromatología de la Universidad Nacional de Loja que consiste en la determinación del nitrógeno total, realizando una digestión en medio ácido, una destilación y una posterior valoración (López, 2020), realizado una sola vez al final del ensayo.

6. Resultados

6.1. Variables morfológicas y de crecimiento vegetativo

6.1.1 Altura de la planta

Todos los tratamientos tuvieron un crecimiento constante, y según la dinámica que se muestra en la figura 3, podemos observar que en promedio de altura el que alcanzó los mejores resultados fue el tratamiento 2, con una incorporación de fertilizante de 100 %, seguido del tratamiento 1, que actuó como testigo. El tratamiento 3 que correspondió a 200 % de incorporación de fertilizante mostró los promedios más bajos, en términos de análisis estadístico no presentó diferencias significativas entre los tratamientos ($p>0,05$).

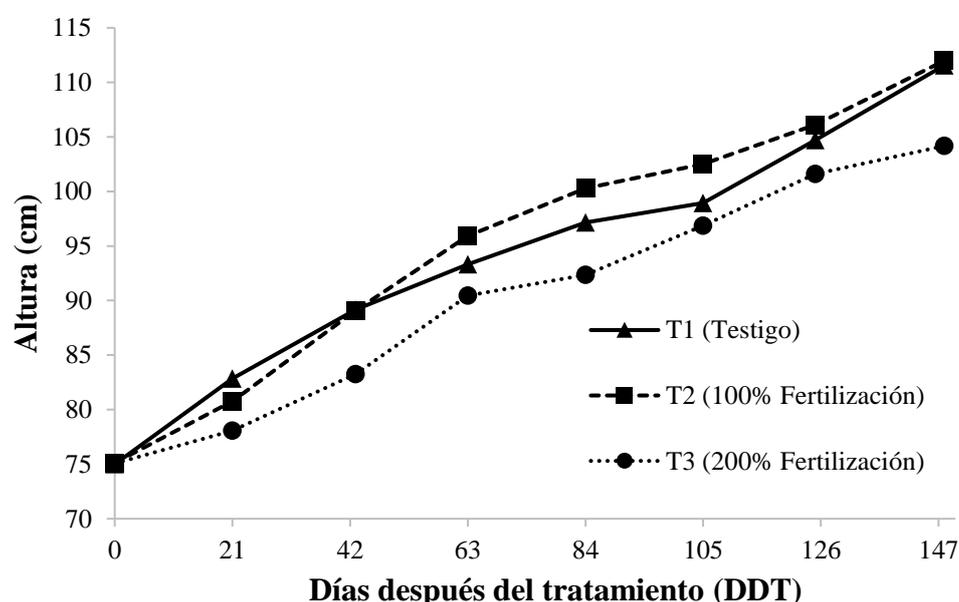


Figura 3. Dinámica de crecimiento de altura de las plantas de cacao variedad EETP800.

6.1.2. Área de sección transversal del tronco (ASTT)

El tratamiento que obtuvo mayor incremento en área de tronco fue el T1 (testigo), con un incremento de $2,89 \text{ cm}^2$ y $5,18 \text{ cm}^2$ de la vareta y patrón respectivamente. El tratamiento que mostró los incrementos más bajos es el T3 con el 200 % de fertilización con $1,44 \text{ cm}^2$ y $3,52 \text{ cm}^2$ de la vareta y patrón respectivamente, en términos de análisis estadístico no hubo diferencias significativas, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Área de la sección transversal del tronco de la vareta y del patrón en cultivo de cacao variedad EETP 800

Tratamiento	ASTT (cm ²)					
	0 DDT		148 DDT		Incremento	
	A: Vareta	B: Patrón	A: Vareta	B: Patrón	A: Vareta	B: Patrón
T1 (Testigo)	1,01 a	1,84 a	3,9 a	7,02 a	2,89 a	5,18 a
T2 (100%)	0,89 a	2,44 a	2,71 a	6,59 a	1,82 a	4,15 a
T3 (200%)	1,54 a	2,56 a	2,98 a	6,08 a	1,44 a	3,52 a

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes. ($p>0,05$), DDT: Días después del tratamiento.

6.1.3. Longitud de brote

El tratamiento que en promedio tuvo mayores resultados fue el tratamiento 2 (100 % fertilización), teniendo su pico más alto de crecimiento a los 84 días después del tratamiento, para luego estabilizarse y nuevamente crecer a los 126 días después del tratamiento. El tratamiento tres obtuvo los brotes más pequeños en comparación a los otros tratamientos, en términos de análisis estadístico no hubo diferencias significativas.

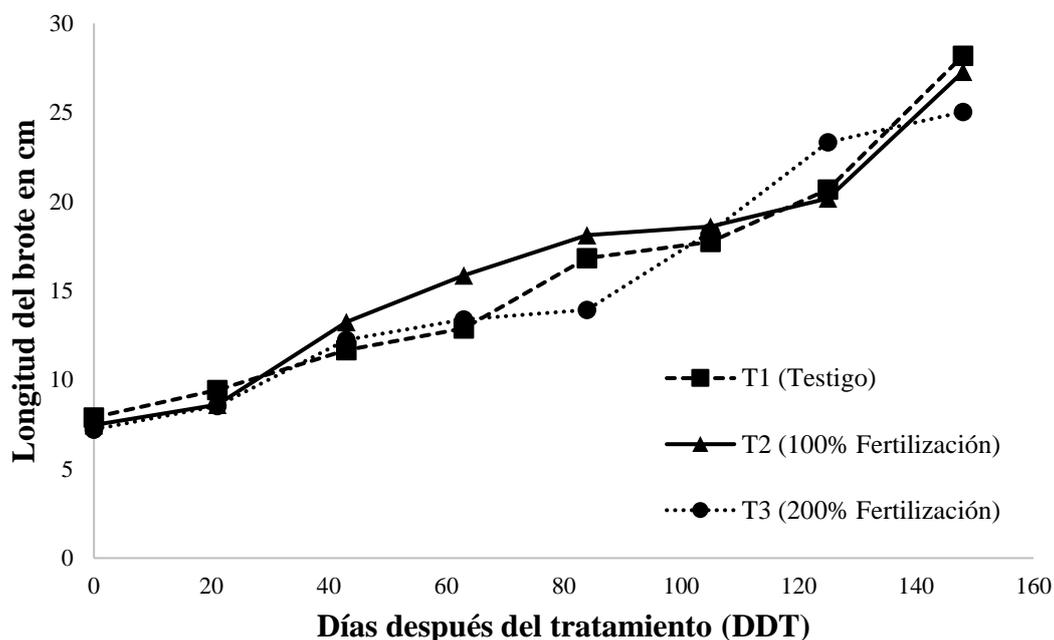


Figura 4. Crecimiento en longitud de los brotes de las plantas de cacao variedad EETP800

6.1.4. Tasa de crecimiento absoluta (TCA)

De acuerdo a la dinámica de datos obtenidos y representados en la figura 5, se puede observar que hubieron variaciones en la tasa de crecimiento absoluto, con picos más altos y picos más bajos dependiendo del momento de evaluación; A los 84 y 148 DDT el tratamiento que obtuvo mayor TCA fue el T1 (testigo) con $0,194 \text{ cm día}^{-1}$ y $0,333 \text{ cm día}^{-1}$ respectivamente; a los 43 y 148 DDT el tratamiento que obtuvo mayor TCA fue el T2 (100 % fertilización) con $0,211 \text{ cm día}^{-1}$ y $0,309 \text{ cm día}^{-1}$ respectivamente; y a los 105 y 125 DDT el tratamiento que obtuvo mayor TCA fue el T3 (200 % fertilización) con $0,208 \text{ cm día}^{-1}$ y $0,302 \text{ cm día}^{-1}$ respectivamente, el cual presentó los TCA más bajos de toda la evaluación, en términos de análisis estadístico no hubieron diferencias significativas.

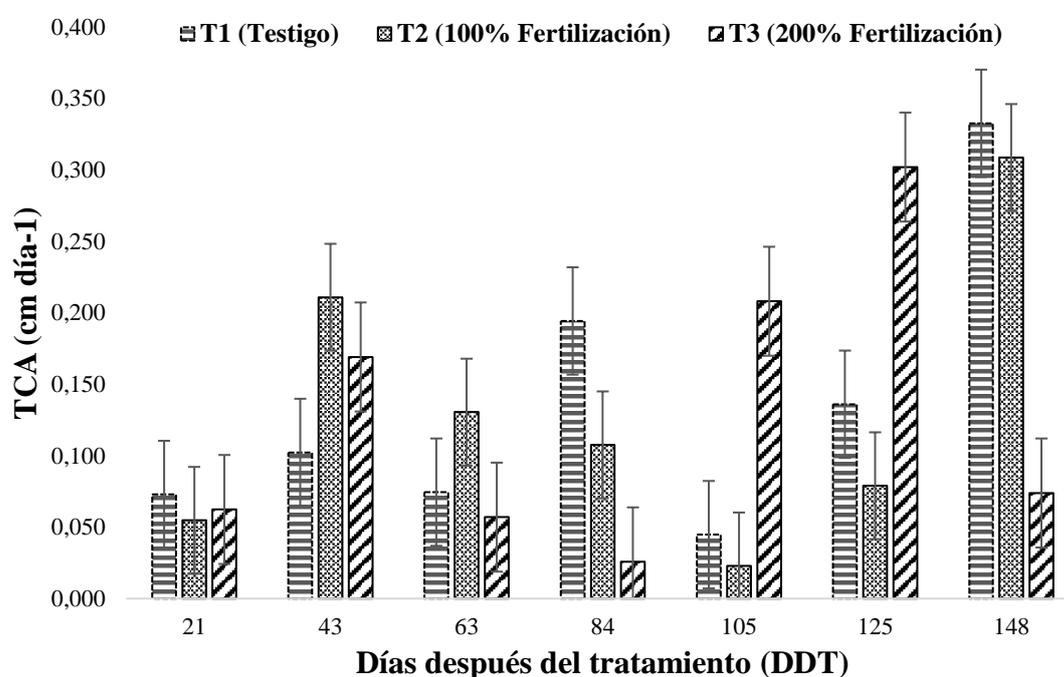


Figura 5. Tasas de crecimiento absoluta de los brotes en plantas de cacao variedad EETP800

6.1.5. Tasa de crecimiento relativa (TCR)

De acuerdo a la dinámica de datos obtenidos y representados en la figura 6, se encontraron variaciones dependiendo del momento de evaluación; A los 84 y 148 DDT el tratamiento que obtuvo mayor TCR fue el T1 (testigo) con $0,059 \text{ mm día}^{-1}$ y $0,0795 \text{ mm día}^{-1}$ respectivamente; A los 63 y 148 DDT el tratamiento que obtuvo mayor TCR fue el dos con $0,053 \text{ mm día}^{-1}$ y $0,051 \text{ mm día}^{-1}$ respectivamente; y, al día 105 y 125 el tratamiento que obtuvo mayor TCR fue el T3 con $0,081 \text{ mm día}^{-1}$ y $0,068 \text{ mm día}^{-1}$ respectivamente,

el cual presentó los TCR más bajos de toda la evaluación, en términos de análisis estadístico no hubieron diferencias significativas.

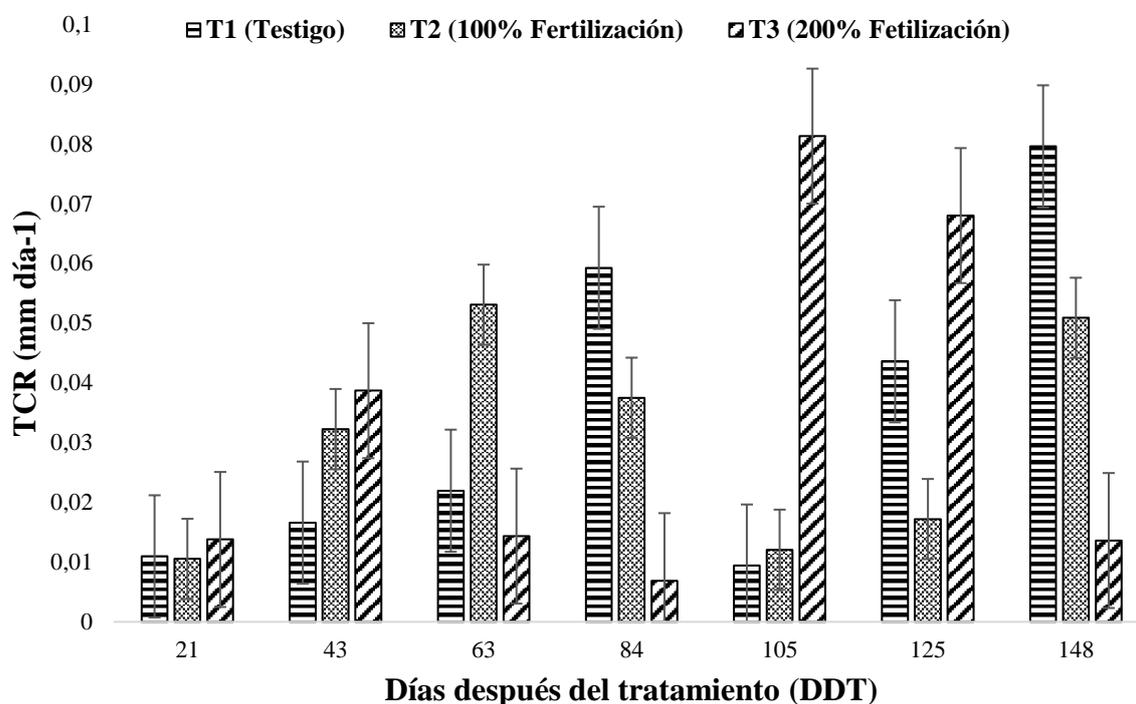


Figura 6. Tasas de crecimiento relativa de los brotes en plantas de cacao variedad EETP 800

6.1.6. Longitud y número de metámeros

En cuanto a la longitud y número de metámeros, se encontraron variaciones tanto en el número como en la longitud de metámeros, siendo el tratamiento T1 (testigo) el que alcanzó las medias más altas en estas dos variables. El tratamiento 3 se caracterizó con el menor número de metámeros (8.5); mientras que el tratamiento 2 obtuvo la menor longitud de metámeros (2,60 cm), en términos de análisis estadístico no hubo diferencias significativas, (Tabla 5).

Tabla 5. Longitud y numero de metámeros a los 148 días después del tratamiento

Tratamiento	Numero de metámeros	Longitud de metámeros
T1 (Testigo, sin fertilización)	11,4 a	2,8 a
T2 (Fertilización al 100%)	10,3 a	2,60 a
T3 (Fertilización al 200%)	8,5 a	2,63 a

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

6.1.7. Área foliar

El área foliar de los brotes y área foliar de plantas fue determinada utilizando una medida alométrica, a la cual se graficó los datos obtenidos, como se observa en la figura 7, y se aplicó un análisis de regresión cuyo mejor ajuste fue el modelo potencial para el ancho de la hoja, obteniendo la siguiente ecuación: $2,8584x^{1,8111}$ con un $R^2 = 0,9766$.

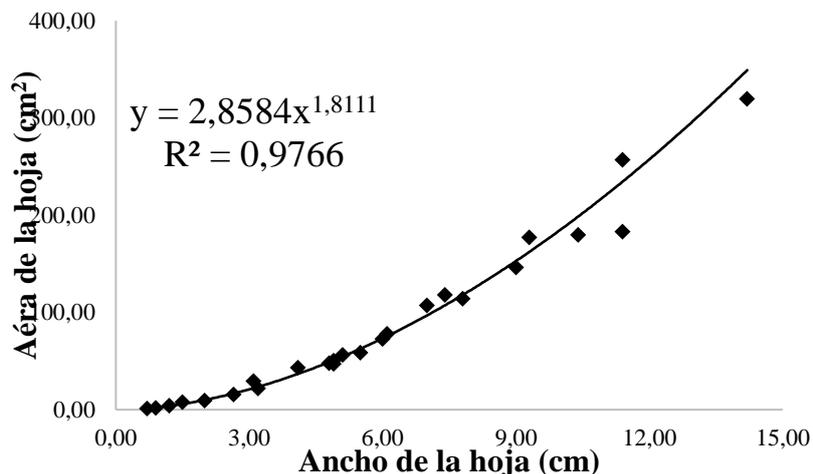


Figura 7. Ecuación de regresión potencial obtenida con datos de medición alométrica con modelo potencial entre el ancho de la hoja y el área foliar.

Según la dinámica de los datos obtenidos y expresados en la figura 8, el tratamiento que mostró mayor área foliar fue el tres (200 % de fertilización) con un valor de 8837,57 cm², mientras que el tratamiento dos obtuvo en promedio menor área foliar por planta (6911,46 cm²).

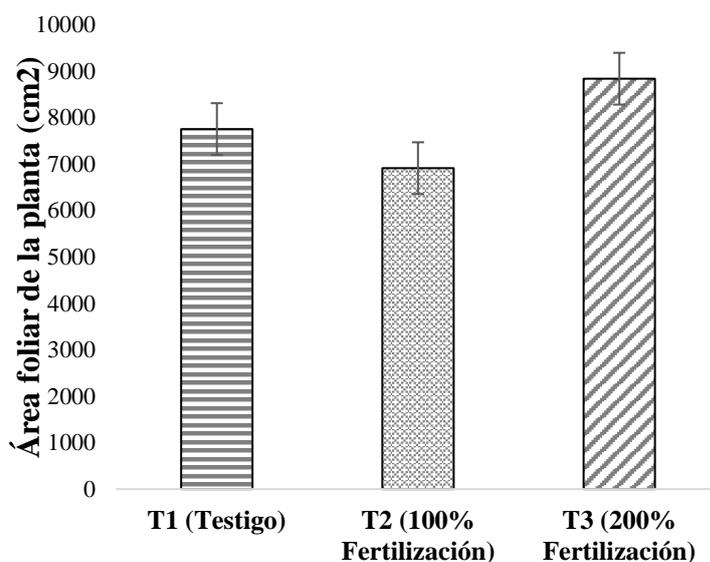


Figura 8. Área foliar de las plantas de cacao variedad EETP800

Con respecto al área foliar del brote, El tratamiento que ganó mayor área foliar por brote fue el dos con un valor de 885,67 cm², en términos de análisis estadístico no hubo diferencias significativas.

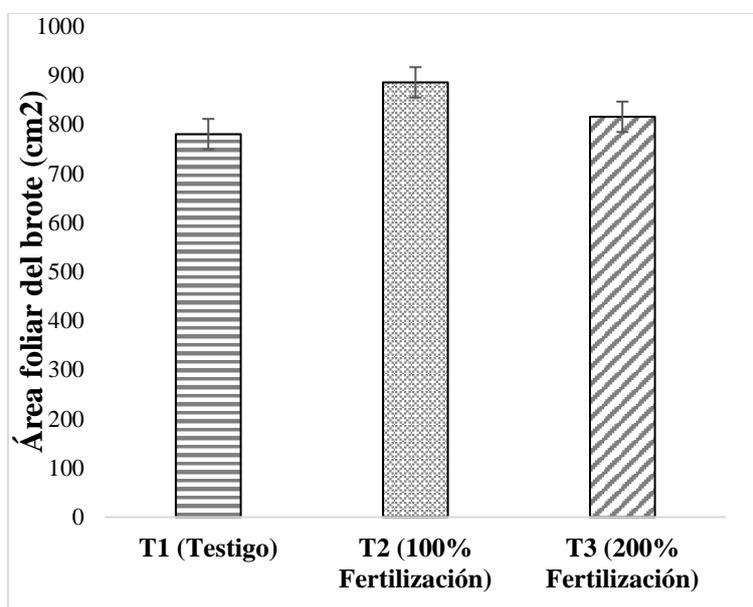


Figura 9. Área foliar del brote de cacao Variedad EETP800

6.2. Variables fisiológicas

6.2.1. Concentración de clorofila

En cuanto a la concentración de clorofila, a los 148 días después de haber empezado el tratamiento (DDT), el tratamiento que alcanzó mayor concentración de clorofila total fue el T3 con un valor de 19,4375 ml g⁻¹, y el tratamiento con la menor concentración de clorofila fue el T2 con un valor de 13,0775 ml g⁻¹, como se puede observar en la tabla 6; en términos de análisis estadístico no hubo diferencias significativas.

Tabla 6. Concentración de clorofila A, B y Total por tratamiento en el cultivo de cacao variedad EETP 800.

Tratamiento	Clorofila A (ml/g)	Clorofila B (ml/g)	Clorofila Total (ml/g)
T1 (Testigo, sin fertilización)	10,1675	4,2875	14,45
T2 (Fertilización 100%)	9,295	3,7875	13,0775
T3 (Fertilización 200%)	13,46	5,9825	19,4375

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

6.2.2. Densidad estomática

Se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) entre el tratamiento T1 o testigo y el tratamiento T2 que corresponde al 100% de fertilización, el cual el T2 mostró el valor más alto de densidad estomática (126,292 estomas mm^2). El tratamiento T3 (200 % de fertilización) no fue diferente estadísticamente de ninguno de los dos tratamientos anteriores con un valor de 116 estomas mm^2 (Tabla 7).

Tabla 7. Densidad estomática en hojas de cacao variedad EETP 800 a los 148 días después de haber aplicado los tratamientos.

Tratamiento	Densidad estomática (estomas/ mm^2)
T1 (Testigo, sin fertilización)	105,458 a
T2 (Fertilización 100%)	126,292 b
T3 (Fertilización 200%)	116,000 ab

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

6.2.3. Índice de área foliar (IAF).

No existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, IAF varía entre 0.049 y 0.06.

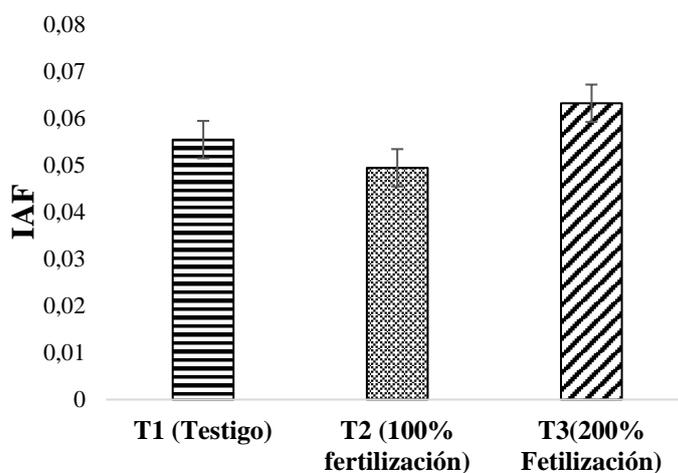


Figura 10. Índice de área foliar a los 148 días después de la aplicación de tratamientos, no existen diferencias significativas ($p > 0,05$)

6.2.4. pH del suelo y conductividad eléctrica

Se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) para los días 63 y 84 después de la aplicación de tratamientos; para el día 63 existieron diferencias entre el tratamiento uno y dos con un pH de 5,485 y 5,1675 respectivamente; y para el día 84 se encontraron diferencias entre el tratamiento dos y tres con valores de 5,275 y 5,755

respectivamente; de manera general, el tratamiento que alcanzó el pH más alto fue el tratamiento 3 para el día 105 con un valor de 5,8575; y el tratamiento con el pH más bajo fue el tratamiento 2 para el día 125 después del tratamiento con un valor de 4,945.

Tabla 8. pH del suelo en el transcurso de días después del tratamiento

Tratamiento	DDT (Días después del tratamiento)						
	21	43	63	84	105	125	148
T1 (Testigo, sin fertilización)	5,3475 a	5,54 a	5,485 b	5,4775 ab	5,4975 a	5,165 a	5,1525 a
T2 (Fertilización 100%)	5,175 a	5,235 a	5,1675 a	5,275 a	5,5925 a	4,945 a	5,0225 a
T3 (Fertilización 200%)	5,2975 a	5,35 a	5,3575 ab	5,755 b	5,8575 a	5,0225 a	5,3275 a

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

Con respecto a la conductividad eléctrica, se encontraron diferencias estadísticas; para el día 63 existieron diferencias entre el tratamiento uno y tres, con un CE de 152,25 uS/m y 1143 uS/m respectivamente; y para el día 84 se encontraron diferencias entre el tratamiento uno y tres con un CE de 178 uS/m y 1130,75 uS/m respectivamente.

Tabla 9. Conductividad eléctrica del suelo en el transcurso de los días después del tratamiento

Tratamiento	DDT (Días después del tratamiento)						
	21	43	63	84	105	125	148
T1 (Testigo, sin fertilización)	151,6 a	122,5 a	152,25 a	178 a	184,25 a	515,5 a	436,75 a
T2 (Fertilización 100%)	449,5 ab	1040,5 b	619,25 ab	954,25 ab	342 a	803,75 a	823 a
T3 (Fertilización 200%)	584,75 b	1299 b	1143 b	1130,75 b	338,25 a	705,5 a	842,75 a

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

6.3. Análisis de tejidos.

6.3.1. Análisis bromatológicos.

Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre el tratamiento T1 (testigo) y T3(200 % fertilización) en cuanto a la ceniza con base seca; siendo el mayor el

tratamiento T1 con un valor de 10,98 %, a diferencia del tratamiento T3 con 8,98 % que es el más bajo con respecto a ceniza en base seca.

Tabla 10. Resultados de los análisis bromatológicos

Tratamiento	M.S.	Cz.		P.C.		F.C.	
	TCO	BS	TCO	BS	TCO	BS	TCO
T1 (Testigo, sin Fertilización)	43,62% a	10,98% b	4,79% a	12,14% a	5,29% a	27,85% a	12,15% a
T2 (Fertilización 100%)	45,25% a	9,30% ab	4,22% a	14,26% a	6,44% a	26,38% a	11,90% a
T3(Fertilización 200%)	47,18% a	8,98% a	4,23% a	14,24% a	6,76% a	27,41% a	12,87% a

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes. ($p > 0,05$), MS: materia seca, Cz: Ceniza, PC: proteína cruda, FC: Fibra cruda, TCO: Tal como se obtuvo, BS: Base seca.

6.4. Correlaciones entre variables

Tabla 11. Correlaciones entre variables

Variable 1	Variable 2	Pearson	P valor	Significancia
ASST Var	Long. Metámeros	1	0,0396	*
ASST Pat	TCR	1	0,0164	*
LB	N° estomas	-1	0,0044	**
TCR	N° metámeros	1	0,0405	*
AF total	pH	1	0,0077	**
Clorofila A	Clorofila B	1	0,0122	*
Clorofila A	Clorofila Total	1	0,0042	**
Clorofila B	Clorofila Total	1	0,008	**
IAF	pH	1	0,0077	**

Los valores son medias de tres repeticiones; * efecto significativo $p < 0,05$; ** efecto muy significativo $p < 0,01$; *** efecto altamente significativo $p < 0,001$.

7. Discusión

En el presente estudio, se analizó cual fue la respuesta de las características morfológicas y fisiológicas del cultivo de cacao, específicamente en la variedad EETP800; para comprender la discusión sobre el efecto de cada fertilizante o dosificación de fertilización incorporada, es importante entender que la morfología es la parte de la biología que estudia la forma de los seres orgánicos y de las modificaciones o transformaciones que experimenta, y la fisiología vegetal es el estudio de los cambios físicos y químicos que ocurren en un organismo vegetal (RAE); y para analizar dichos cambios se utilizó algunas variables tanto morfológicas como fisiológicas.

En términos de análisis estadístico las variables morfológicas no sobresalieron diferencialmente la una con la otra, las cuales tenemos: Altura de la planta, Área Foliar, Área de la sección transversal del tronco, Longitud de brote, Longitud y Número de metámeros, Tasa de crecimiento absoluta y relativa, Índice de área foliar y se incluye una variable fisiológica la cual es la Concentración de clorofila, esto quiere decir que ninguno de los tratamientos incorporados sobresalió estadísticamente en ninguna de estas variables morfológicas; sin embargo, en las variables fisiológicas se puede observar que si existieron diferencias estadísticas.

En las variables morfológicas está el extendido tiempo para la observación de posibles cambios morfológicos con una evaluación total de 148 días después del tratamiento (DDT), Snoeck (2016) explica que las plantas de cacao requieren un manejo a largo plazo ya que los árboles tienen una capacidad de reducción, el cual es la capacidad de estabilizar un pH cuando un elemento ácido o alcalino es incorporado al suelo y que puede diferir en las respuestas a la fertilización.

En cuanto a los parámetros de suelo, según el análisis inicial realizado en el INIAP Santa catalina se toma como referencia en todo el proyecto un pH inicial de 5,5 y después de la aplicación de tratamientos no se encontraron diferencias o variaciones significativas en el pH hasta los 43 días después de la aplicación de tratamientos (DDT), sin embargo a los 63 y 84 días si se encontraron diferencias, siendo para el día 63 el tratamiento T1 el que mayor pH obtuvo con 5,48 a diferencia del tratamiento T2 que obtuvo el pH más bajo con un valor de 5,16; y para el día 84 el tratamiento T3 fue el que mayor pH obtuvo con 5,75 a diferencia del tratamiento T2 que fue el que menos pH obtuvo con un valor de 5,27; y los siguientes días hasta los 148 DDT no se volvieron a encontrar diferencias estadísticas; la variación en el pH del suelo se puede deber a diferentes factores, sin embargo la

aplicación de fertilizantes al suelo fueron constantes y solo se encontraron diferencias en dos fechas diferentes, esto nos da a entender que la aplicación de fertilizantes no afecta al pH del suelo sino que según Kluepfel-Lippert (2012) el pH del suelo se ve afectado por los mismos materiales parentales que componen el suelo, los suelos formados a partir de rocas básicas generalmente tienen un pH más alto que los suelos formados a partir de rocas ácidas. El agua de lluvia también afecta el pH del suelo, cuando el agua pasa a través del suelo, filtra nutrientes básicos como calcio y magnesio, estos son reemplazados por elementos ácidos como el aluminio y el hierro. Por lo tanto, el suelo formado en condiciones de mucha lluvia es más ácido que el suelo formado en condiciones secas, que es lo que está pasando en los suelos de Zamora, los cuales son considerados ácidos (INIAP, 2014), por esta razón, la variación de pH a los 63 y 84 DDT se produjo por cantidades elevadas de precipitación que existieron en el sector en ese periodo de evaluación.

El pH del suelo es de mucha importancia para el desarrollo del cultivo ya que si se encuentra en el rango óptimo la mayoría de los nutrientes mantiene su máximo nivel de solubilidad. Por debajo de este rango, pueden presentarse deficiencias de nitrógeno, potasio, calcio y magnesio; mientras que por encima, puede disminuir la solubilidad del hierro, fósforo, manganeso, zinc y cobre del suelo (Barbaro *et al.* 2018) y por ende, es un parámetro que afecta directamente en la eficiencia del fertilizante (Snoeck *et al.* 2016) en los suelos de Zamora los pH promedio son de 5,5 a 6, lo que se considera medianamente ácido (GAD, 2015) lo que de manera general no afecta negativamente en el desarrollo del cultivo, pues el rango del pH para el desarrollo de cacao es de 5,5 a 7,5 (Campoverde, 2016).

Con respecto a la conductividad eléctrica (CE), se encontraron similitudes a los resultados encontrados en el pH del suelo, pues no se encontraron diferencias estadísticas hasta los 43 días después de la aplicación de tratamientos (DDT), sin embargo a los 63 y 84 días si se encontraron diferencias estadísticas, siendo para los 63 días el tratamiento T3 fue el que más conductividad eléctrica obtuvo con un valor de 1143 uS/m a diferencia del tratamiento T1 que obtuvo 152,25 uS/m; y para el día 84 DDT igualmente el tratamiento T3 fue el que mayor conductividad eléctrica obtuvo con un valor de 1130,75 uS/m a diferencia del tratamiento T1 con la menor CE con 178 uS/m; y el tratamiento T2 no fue estadísticamente diferente de ninguno de los tratamientos en estos dos días, con un valor de 619,25 uS/m y 954,25 uS/m respectivamente; estos resultados son de mucha ayuda ya

que nos permiten comprender cual es la movilidad de los cationes (nutrientes) en el suelo, existen estudios relacionados con la conductividad eléctrica en el cacao, donde se cree que una elevada conductividad eléctrica pueden indicar fertilidad en el suelo, debido a que los cationes (nutrientes) se mantienen en los sitios de intercambio catiónico (Meter *et al.* 2019) por otro lado existen estudios que corroboran resultados diferentes como lo menciona Khoshgoftar *et al.* (2004) que un exceso de CE manifiesta valores elevados de iones de Na y Mg, dando como resultado un suelo salino, que es perjudicial para el desarrollo adecuado de la planta de cacao.

Barbaro *et al.* (2018) menciona que la CE puede incrementarse por varias razones, entre ellas encontramos la presencia de fertilizantes insolubles, otra es la incorporación de una cantidad de fertilizante superior a las absorbidas o lixiviadas que se da cuando el suelo tiene una alta CIC (capacidad de intercambio catiónico); y también, se ve afectado por factores climáticos, como la temperatura y las sequias (Espinoza *et al.* 2006), ya que al haber periodos de sequias en un cultivo donde se incorpore fertilizantes y la cantidad de fertilizante incorporado sea mayor a la cantidad de fertilizante lixiviado entonces se genera mayor CE, en comparación con este estudio se puede observar que si existe un crecimiento elevado en el CE desde el 21 DDT hasta los 84 DDT ya que para los días 63 y 84 comenzaron las lluvias fuertes en el sector, lo que verifica los resultados encontrados por (Bárbaro *et al.* 2018), ya que después de las fuertes lluvias la cantidad de CE vuelve a estabilizarse; gracias a este análisis se puede corroborar que el incremento en la CE es debido a las altas concentraciones de fertilizantes en el suelo sin que exista una debida lixiviación o absorción, y se lo comprueba en los valores de CE por tratamiento, en el cual, el tratamiento T1 (Testigo) presenta los valores más bajos de toda la evaluación, seguido del tratamiento T2 (100 % fertilización) con valores medios pero sin diferencia estadística, y por último el tratamiento T3 (200 % de fertilización) que si presenta los valores más altos y diferencias estadísticas en la CE, de lo cual podemos concluir que el exceso de fertilizante es perjudicial, por la acumulación de sales sin lixiviar que vuelven toxico el suelo y por ende provoca un desarrollo limitado y muchas de las veces devastador en un cultivo, sin contar que mientras mayor sea la incorporación de fertilizantes mayor será el costo de producción, lo cual es contraproducente cuando se está hablando de un productor.

Con respecto a la Altura de la planta y longitud del brote, para la evaluación de estas variables se tomó en cuenta como covariable a la altura inicial y longitud del brote inicial,

lo que significa que todos los tratamientos iniciaron con la misma altura en promedio (75 cm) y misma longitud del brote (7,2 cm); a pesar de no haberse encontrado diferencias estadísticas, se observó que las plantas del tratamiento T2 sobresalieron en comparación a los otros tratamientos, siendo el tratamiento T3 el que menos altura obtuvo de los tres tratamientos. Esto menciona Probelte (2019), que el exceso de fertilizante tiene como consecuencia que las plantas crezcan débiles. Además, las puntas de las raíces pueden quemarse por el alto nivel de sales que contienen estas sustancias. En definitiva, la sobre fertilización de cualquier cultivo puede hacer que las plantas estén mucho más comprometidas ante la presencia de alguna enfermedad.

También se sabe que el clima de Zamora presenta una humedad relativa alta, por ende, existe mayor contenido de agua, la cual tiene un alto grado de precipitación en el que se presenta mayor cantidad de Fe (hierro) el cual al estar en alta disponibilidad causando toxicidad en las plantas, manifestándose como necrosis en las hojas y disminución de biomasa radicular, esto disminuye el crecimiento de la planta y el rendimiento del cultivo. El manganeso (Mn) en altas concentraciones también puede afectar el rendimiento de los cultivos, los síntomas son similares a los producidos por la toxicidad del hierro y puede inducir la deficiencia de otros nutrientes como el magnesio y el calcio (Snoeck, 2016), y eso es lo que se puede observar ligeramente en el tratamiento T3, ya que presenta los promedios más bajos de altura de planta y longitud brote de todo el periodo de evaluación, sin embargo el tratamiento T2 con 100 % de fertilización es el que presenta los valores más altos con respecto a la altura de planta y longitud de brote, el cual le está incorporando los nutrientes necesarios para que la planta se desarrolle correctamente, sin producir un exceso o un déficit nutricional.

En la variable Área de la sección transversal del tronco (ASTT), el tratamiento más sobresaliente en cuanto a incremento de la vareta y el patrón fue el T1 (Testigo), lo que contradice a los resultados obtenidos por Paspuel Huera (2018), donde se observa que la aplicación de fertilizante obtuvo un efecto estadísticamente superior sobre la producción inicial del cacao y sobre el incremento del diámetro de tallo a diferencia de los demás tratamientos sin fertilización; resultados parecidos halló Castro (2014), donde expresa que a los 90 días de iniciado su periodo de evaluación, los tratamiento con fertilización obtuvieron mayor diámetro del tallo, lo que no se evidencia en este estudio, esto se puede producir porque las plantas son jóvenes y están en pleno desarrollo vegetativo, lo que representa que los suministros no está destinados al diámetro del tallo sino que

únicamente a la producción de ramas y hojas, por esta razón no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos, lo cual se podrá evidenciar con un mayor periodo de evaluación (Romero, 2019), gracias al análisis de correlación se observa que el ASTT de la vareta tiene un grado de significancia positivo con respecto a la longitud del brote con un p valor de 0.0396, esto nos ayuda a comprender que la relación fuente sumidero del cultivo en esta etapa de evaluación está relacionada a la interacción entre el diámetro del tallo y la longitud de los brotes, obteniendo una relación directamente proporcional, a mayor diámetro del tallo mayor longitud del brote (Giménez & Beltrano, 2011), tomando en cuenta que los brotes están actuando como vertedero ya que la planta se encuentra en etapa vegetativa y la parte foliar es la que tiene mayor demanda de nutrientes y foto asimilados (UPAO, 2014).

Con respecto a la longitud y número de metámeros, el tratamiento que obtuvo mayor longitud y número de metámeros fue el T1 (testigo) con 11,4 y 2,8 respectivamente, lo que se puede corroborar gracias a los análisis de la tasa de crecimiento absoluta y relativa, siendo el tratamiento T1 (testigo) el que en general obtuvo mayor tasa absoluta y relativa; estos valores tienen diferencias mínimas por tratamiento en toda la evaluación, lo que nos ayuda a deducir que no se obtuvieron datos más específicos debido al corto tiempo de evaluación, por otra parte Quito (2020) menciona que Ecuador y específicamente la amazonia Ecuatoriana presenta los suelos más aptos para el desarrollo del cultivo de cacao, Arvelo *et al.* (2017) también señala que la incorporación de fertilizantes en la etapa vegetativa tiene un efecto significativo, especialmente los elementos como el fósforo y el nitrógeno que son los nutrientes que ayudan al crecimiento vegetativo de las plantas, sin embargo, las diferencias entre tratamientos no presentan diferencias ya que el suelo de por sí tiene una fertilidad nativa para la producción de cacao, ya que también influye mucho el nivel de materia orgánica que tenga el suelo, lo cual le da mayor dinámica a los nutrientes del suelo con la planta (Alvarado, 2016), dentro de la longitud del brote se encontró una correlación negativa muy significativa con el número de estomas, demostrando que a mayor longitud del brote se reduce el número de estomas del mismo brote, esto se puede deber a que cuando el brote está actuando como vertedero se reduce la producción de hojas y por lo tanto disminuye el número de estomas por brote y por planta.

Con respecto al Área foliar (AF) e Índice de área foliar (IAF) de la planta el tratamiento T3 presentó mayor área foliar total, y mayor índice de área foliar por planta, a diferencia

del área foliar por brote el cual fue mayor en el tratamiento T2, con esto podemos deducir que la fertilización si tiene un efecto positivo en cuando al área foliar de la planta (López *et al.* 2014), específicamente, el tratamiento T3 con 200% de fertilización está elevando el volumen foliar total de la planta, permitiendo no solo el desarrollo de los brotes sino más bien el desarrollo de las hojas y ramas anteriormente producidas, esto se puede deber por la elevada concentración de nitrógeno que ayuda al crecimiento vegetativo en general (Pérez *et al.* 2004), mientras que el tratamiento T2 está influenciando específicamente a los brotes que se consideró para evaluación, incrementando el AF por brote debido al aporte en cantidades específicas de fosforo y nitrógeno que son fundamentales para el nacimiento y desarrollo brotes nuevos, acompañados de hormonas reguladoras de crecimiento, pero el déficit en pequeñas cantidades de estos 2 nutrientes puede incrementar el desarrollo de raíces (Alcantara *et al.* 2019).

También se pudo observar que el pH tiene un efecto muy significativo en cuanto al AF y IAF, no solo porque el pH regula la disponibilidad de nutrientes, sino también porque estos nutrientes estas ligados a reguladores de crecimiento en las plantas.

La concentración de clorofila no presentó diferencias estadísticas a los 148 DDT, Marín *et al.* (2017) muestra que en su ensayo hubo una significativa relación curvilínea entre la concentración de nutrientes en la solución de riego (CE) y el contenido relativo de clorofila foliar, en su estudio muestra que los valores más altos de concentración de clorofila se presentaba en los tratamientos con fertilización y se expresa mayoritariamente en las hojas más cercanas a los ápices, mientras que los hojas que se iban alejando del ápice presentaban menor contenido de clorofila, las hojas más cercanas al ápice de los tratamientos sin fertilización presentaron menor contenido de clorofila. Batista (2017) encontró resultados similares, donde verifica que el incremento del área foliar reduce los niveles de concentración de clorofila, en este estudio se obtiene los mismos resultados, el tratamiento que obtuvo mayor concentración de clorofila fue le T3 (200% fertilización), seguido del tratamiento T2 (100% fertilización) y por último, el tratamiento T1 (Testigo) con los valores más bajos y se verifica, ya que la colecta de las hojas a evaluar se realizó de la misma manera, recolectando hojas de una misma planta y con diferente edad, por lo tanto la aplicación de fertilizante al 200 %, contiene mayor contenido de nitrógeno y fosforo, que fortalece la producción de hojas y por ende una mayor concentración de clorofila.

Con respecto a la densidad estomática si se encontraron diferencias estadísticas entre el tratamiento T1 (testigo) y el tratamiento T2 (100 % fertilización) con valores de 105,45 y 126, 29 estomas/mm² respectivamente, el tratamiento T3 a pesar que si tiene fertilización no es estadísticamente diferente a ninguno de los otros tratamientos, gracias a estos análisis podemos deducir que el tratamiento con fertilización, especialmente el T2 (100 % fertilización), ayuda a la producción de más estomas por superficie foliar, Peralta-Manjarrez *et al.* (2016) en su estudio de la densidad estomática en hojas de hortalizas, halló resultados parecidos donde la incorporación de fertilizantes tanto inorgánicos como orgánicos incrementaban la superficie foliar y a su vez la densidad estomática, pero las hojas de las hortalizas tienen una citología diferente a las hojas frutales de cacao, por lo cual, Naizaque *et al.* (2014) también muestra que en hojas de feijoa que es una planta arbustiva subtropical de climas amazónicos se encuentra los mismos resultados, el nitrógeno, el fosforo y el potasio, en conjunto con el azufre y específicamente calcio en cantidades necesarias fomenta el crecimiento y desarrollo foliar, y a su vez la creación de paredes y estructuras celulares de transpiración en las hojas (estomas) generando mayor densidad estomática por superficie foliar, en general, la fertilización adecuada en cualquier planta sea arbustiva o herbácea incrementa la superficie de la hoja, generando mayor densidad estomática, en el caso de la incorporación excesiva o déficit de nutrientes, el calcio, especialmente en hojas es contraproducente, lo que puede producir debilidad en las pareces celulares y a su vez la mal formación de estomas, reduciendo la superficie foliar y por ende disminuyendo la densidad estomática de las hojas; la fertilización en la parte vegetativa es necesaria en porciones específicas bajas, ya que la planta aún no tiene órganos productores y la transpiración que se realiza es menor a la que se realiza cuando están en llenado del fruto, por esta razón la fertilización debe ser progresiva a medida que se incrementan las necesidades nutricionales del cultivo, como la producción del fruto (Arvelo *et al.* 2017).

8. Conclusiones

La fertilización no mostró diferencias significativas en las variables morfológicas de las cuales tenemos altura de la planta, área de la sección transversal del tronco, longitud del brote, tasa de crecimiento absoluta y relativa, longitud y número de metámeros y área foliar, El Tratamiento T2 (100% Fertilización) sobresalió ligeramente en el desarrollo morfológico de las plantas de cacao.

La fertilización jugó un papel muy importante en la cantidad de clorofila y densidad estomática de las hojas de la planta, siendo el tratamiento T2 (100% fertilización) el que presentó los valores más altos, evidenciando la eficiencia del tratamiento T2 en la parte fisiológica de la planta de cacao EETP 800.

La acumulación de sales en el suelo sin una adecuada lixiviación generó incremento en la conductividad eléctrica del suelo. El pH del suelo no se vio afectado por la aplicación de fertilizantes, ni afectó al crecimiento morfológico ni fisiológico de la planta ya que el pH promedio de la zona de evaluación se encuentra dentro del rango óptimo 5,5 para el desarrollo del cultivo de cacao Variedad EETP800.

9. Recomendaciones

- Realizar no solo análisis de contenido nutricional del suelo, sino también de las hojas, para poder conocer en efecto la influencia de la fertilización en la fisiología vegetal.
- Ubicar señales específicas desde el inicio del proyecto para tabulación de datos ordenada y correcta, facilitando la rapidez y eficacia del trabajo.

10. Bibliografía

- Agrocalidad. (2015). *Manual de aplicabilidad de buenas prácticas agrícolas para Cacao*. Quito-Ecuador: agrocalidad.gob.ec. Obtenido de <https://agroecuador.org/images/pdfs/buenas-practiccas/agric/Manuales-de-aplicabilidad-de-BPA-para-Cacao.pdf>
- Alcantara Cortes, J. S., Acero Godoy, J., Alcántara Cortés , J. D., & Sánchez Mora , R. M. (2019). *Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal*. Cundinamarca : Facultad de Ciencias de la Salud. Programa Bacteriología y Laboratorio Clínico. Semillero de investigación Biotecnología y Genética, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v17n32/1794-2470-nova-17-32-109.pdf>
- Alvarado Muñoz, C. A. (2016). *EFEECTO DE LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA E INORGÁNICA, EN EL RENDIMIENTO DE UN CLON DE CACAO (Theobroma cacao, L) Y EN LA FERTILIDAD DEL SUELO*. San Carlos Costa Rica : INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA.
- Ambar . (30 de 12 de 2016). <http://ambar.utpl.edu.ec>. Obtenido de <http://ambar.utpl.edu.ec>:
<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj8hLKQtLn2AhVUjokEHWx3Ds0QFnoECCYQAQ&url=http%3A%2F%2Fambar.utpl.edu.ec%2Fdataset%2F639eccd3-a1dc-4309-8b29-c03b2c78ae9c%2Fresource%2F80fe3e49-2343-4624-9c44-1f3af508>
- Ambar UTPL. (30 de 12 de 2016). <http://ambar.utpl.edu.ec>. Obtenido de <http://ambar.utpl.edu.ec>:
<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj8hLKQtLn2AhVUjokEHWx3Ds0QFnoECCYQAQ&url=http%3A%2F%2Fambar.utpl.edu.ec%2Fdataset%2F639eccd3-a1dc-4309-8b29-c03b2c78ae9c%2Fresource%2F80fe3e49-2343-4624-9c44-1f3af508>
- Amores F., A. V. (2019). INIAP-EETP-800 ‘AROMA PICHILINGUE’, NUEVA VARIEDAD ECUATORIANA DE CACAO FINO DE ALTO RENDIMIENTO. *scielo*. Obtenido de

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802019000200187&lng=es&nrm=iso&fbclid=IwAR2ysD8W7kVQtMtz9dJM JuxJD%20yX4Rq0kQiBYvqwJDLfHNPG4oh-p_vKEcAo#B1

Anacafé, A. N. (2004). *Cultivo de cacao: Programa de diversificación de Ingresos en la empresa cafetelera*. Obtenido de <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/05/Cultivo-de-Cacao.pdf>

Anecacao. (2015). *Historia del Cacao*. Obtenido de [anecacao.com: http://www.anecacao.com/index.php/es/quienes-somos.html](http://www.anecacao.com/index.php/es/quienes-somos.html)

ANECACAO. (2019). *Sector exportador de cacao*. Obtenido de <http://www.anecacao.com/uploads/estadistica/cacao-ecuador-2019-4.pdf> (consultado el

Arvelo Sánchez, M. Á., González León, D., Maroto Arce, S., Delgado López, T., & Montoya Rodríguez, P. (2017). *Manual Técnico del Cultivo de Cacao Buenas practicas para America Latina*. San Jose - Costa Rica : Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

Barbaro, L., Karlanian, M., & Mata, D. (2018). *Importancia del pH y La Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos de las plantas*. Buenos Aires - Argentina: CIRN Instituto de Froticultura .

Barrientos, A., Borys, M., Trejo, C., & López, L. (2003). Índice y densidad estomática foliar en plántulas de tres razas de aguacatero. . *Revista Fitotecnia Mexicana*, 285-290.

Barros Nieves, O. (2015). Morfología y clasificación botánica del cacao. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) Biblioteca Agropecuaria de Colombia, (BAC)*.

Batista, D. (2017). *Indicadores fisiológicos, bioquímicos y del crecimiento de variedades de albahaca (Ocimum basilicum L.) en respuesta al estrés por NaCl y su interacción con un bioestimulante como agente mitigador*. California, Estados Unidos : Centro de investigaciones biológicas del Noroeste, S.C. La Paz.

Borrero, C. (2009). *Fertilización del cultivo de cacao en sitio definitivo*. San José del Guaviare: borrerosesar.wikispaces.com.

- Cacaomexico. (08 de Febrero de 2017). *Principales Países Productores de Cacao*. Obtenido de cacaomexico.org: https://cacaomexico.org/?page_id=201
- Campoverde, V. (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*. Guayaquil - Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Carrera de Ingeniería Agropecuaria.
- Castro, C. (2014). *Efecto de los fertilizantes de liberación controlada sobre el desarrollo de plantas de cacao (Theobroma cacao), en vivero, en Santo Domingo de los Tsáchilas*. Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Climate-data.org. (2019). *Climate-data.org*. Obtenido de Climate-data.org: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador-63/>
- Cocoaecuador. (25 de Marzo de 2017). *cacaomexico.org*. Obtenido de cacaomexico.org. Obtenido de
- Córdova Ávalos , V., Sánchez Hernández , M., Estrella Chulím, N. G., Macías Layalle, A., Sandoval Castro , E., Martínez Saldaña, T., & Ortiz García , C. F. (2001). FACTORES QUE AFECTAN A LA PRODUCCIÓN DE CACAO (Theobroma cacao L.) EN EL EJIDO FRANCISCO I MADERO DEL PLAN CHONTALPA TABASCO, MEXICO. *redalyc.org*, 95-99.
- Eguiguren, A., & Carmona, J. (2012). *Estudio del cacao y propuesta gastronómica de autor*. Quito, Ecuador: Universidad Internacional del Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/329/1/T-UIDE-0308.pdf>
- ESPAC. (2018). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua*. Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Estadisticas_agropecuarias/espac/
- ESPAE. (2016). *ESTUDIOS INDUSTRIALES ORIENTACIÓN ESTRATÉGICA PARA LA TOMA DE DECISIONES*. Guayaquil - Ecuador: Escuela superior politecnica del litoral. Obtenido de <http://www.espae.espol.edu.ec/wp-content/uploads/2016/12/industriacacao.pdf>

- ESPAE. (2016). *Orientación Estratégica para la toma de decisiones: Industria de Cacao*. Guayaquil-Ecuador: espae.espol. Obtenido de <http://www.espae.espol.edu.ec/wp-content/uploads/2016/12/industriacacao.pdf>
- ESPAE. (2016). *Orientación Estratégica para la toma de decisiones: Industria de Cacao*. Guayaquil-Ecuador: espae.espol. Obtenido de <http://www.espae.espol.edu.ec/wp-content/uploads/2016/12/industriacacao.pdf>
- Espinoza, L., Stalon, N., & Mozaffari, M. (2006). Como Interpretar los Resultados de los Análisis de Suelos. *University of Arkansas System: Division of agricultura. Agricultura y Recursos Naturales*, 4.
- FAO, O. p. (2017). *CACAO: Operaciones Poscosecha*. Veracruz: Instituto Tecnológico Superior de Veracruz y el Instituto Tecnológico Superior de Huatusco.
- Fernández, J. (2016). Dinámica nutricional del cacao bajo diferentes tratamientos de fertilización con N, P y K en vivero. *Revista Colombiana de Ciencias* .
- GAD, G. A. (2015). *Diagnostico el Chorro*. Zamora Chinchipe : Equipo consultor.
- Giménez, D. O., & Beltrano, J. (2011). *Transporte de sustancias organicas e inorganicas de las plantas* . Buenos Aires - Argentina : Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales Universidad Nacional de la Plata .
- Herrera, R. (2019). Dinámica nutricional en interacciones NPK relacionada a características morfológicas y fisiológicas en cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN 51. Loja, Ecuador: Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables: Universidad Nacional de Loja.
- infoAgro. (2015). *El Cultivo del Cacao*. Obtenido de infoAgro.com: <https://www.infoagro.com/herbaceos/industriales/cacao.htm>
- INIAP. (2014). *Estación experimental central de la Amazonía: Programa de cacao y café. Informe anual 2014. Joyas de los Sachas*. Orellana- Ecuador.
- INIAP. (2017). repositorio.iniap.gob.ec. Obtenido de <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5240/1/INIAPBEETPP436>.

- Khoshgoftar, A., Shariatmadari, H., Karimian, N., Kalbasi, M., & Parker, D. (2004). Salinity and Zinc Application Effects on PH y to availability of Cadmium and Zinc. *Soil Science Society of America Journal*, 68.
- Kluepfel, M., & Lippert, B. (22 de octubre de 2012). *Clemson.edu*. Obtenido de Clemson Cooperative Extension Home & Garden Information Center: <https://hgic.clemson.edu/factsheet/cambiando-el-ph-del-suelo/>
- Lopez Choque, M. A. (2020). *Validación del método kjeldahl para la determinación de nitrógeno total en suelos agrícolas del departamento de La Paz*. La Paz. Obtenido de <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/25691>
- López, E., Morales, A., Vargas, E., Hernández, P., Reséndiz, R., Hernández, I., & Loeza, J. (2014). Efectos de la fertilización con P sobre la duración del área foliar acumulada, biomasa y rendimiento de tres cultivares de maíz en Toluca, México. *PYTON-Revista Internacional de Botánica Experimental*, No. 1101 , 9.
- Marín Martín, C., Bañón Arias, S., & Martínez Sánchez, J. J. (2017). *La tasa de fertilización N-P-K afecta al crecimiento, clorofila foliar y contenido de nutrientes de Astragalus nitidiflorus cultivado en sustrato*. Cartagena , Colombia : DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN VEGETAL Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA. Obtenido de <https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/5862/tfe-mar-lat.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Meter, A., Atkinson, R., & Laliberte, B. (2019). *Cadmio en el cacao de América Latina y el Caribe – Análisis de la investigación y soluciones potenciales para la mitigación*. Roma: Bioversity International.
- Naizaque, J., García, G., Fischer, G., & Melgarejo, L. M. (junio de 2014). RELACIÓN ENTRE LA DENSIDAD ESTOMÁTICA, LA TRANSPIRACIÓN Y LAS CONDICIONES AMBIENTALES EN FEIJOA (*Acacia sellowiana* [O. BERG] BURRET). *Scielo*, 17 (1). Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262014000100013

- Omaña, D. (22 de Abril de 2009). *Puro Cacao: Morfología y Taxonomía*. Obtenido de <http://purocacaounesur.blogspot.com>:
<http://purocacaounesur.blogspot.com/2009/04/morfologia-y-taxonomia.html>
- Paspuel Huera, M. E. (2018). Respuesta del cacao a la aplicación del fertilizante “full cacao” en comparación con la fertilización convencional en Pangua. En P. H. Emilio, *Respuesta del cacao a la aplicación del fertilizante “full cacao” en comparación con la fertilización convencional en Pangua* (pág. 40). Quito - Ecuador: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA.
- Peralta-Manjarrez, R. M., Cabrera-De la Fuente, M., Morelos-Moreno, A., Benavides-Mendoza, A., Ramírez-Godina, F., & González-Fuentes, J. A. (Noviembre - Diciembre de 2016). Micromorfología del pepino obtenido mediante injerto y desarrollado en dos sistemas de fertilización. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, pp. 3453- 3463. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263149506006.pdf>
- Pérez Amaro , J. a., García Moya , E., Enríquez Quiroz, J. F., Quero Carrillo, A. R., Pérez Pérez , J., & Hernández Garay, A. (2004). *Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto mulato (Brachiaria híbrido, cv.)*. Programa de botanica. Instituto de Recursos Naturales , Programa de ganadería, instituto de recursos genéticos y productividad. Colegio de postgraduados CP. Texcoco - Mexico: Colegio de postgraduados CP. Montecillo, texcoco, Estado de Mexico .
- Poblete-Echeverría, C., Fuentes, S., Ortega-Farías, S., Gonzalez-Talice, J., & Yuri, J. (2015). Digital Cover Photography for Estimating Leaf Area Index (IAF) in Apple Trees Using a Variable Light Extinction Coefficient. *Scielo*. doi:10.3390/s150202860
- Portal de formación estadística. (2022). *jmp.statistical Discovery*. Obtenido de Coeficiente de correlación: https://www.jmp.com/es_cl/statistics-knowledge-portal/what-is-correlation/correlation-coefficient.html

- Probelte. (29 de Agosto de 2019). *¿Qué impacto tiene el exceso de fertilizantes para los cultivos?* Obtenido de Probelte.es: <https://www.probelte.es/noticia/es/-que-impacto-tiene-el-exceso-de-fertilizantes-para-los-cultivos/37>
- Quevedo, J., & Noles, M. (2020). *Evaluación de enmiendas orgánicas: efectos en la producción y fotosanidad del cacao (Theobroma cacao L.) cultivar CCN-51*. Machala, Ecuador: Universidad Técnica de Machala. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/16142/1/TTUACA-2020-IA-DE00025.pdf>
- Quito Orellana , J. A. (2020). *BIOCHAR COMO ENMIENDA EDÁFICA PARA BAJAR LOS NIVELES DE ABSORCIÓN DE CADMIO EN CACAO (THEOBROMA CACAO L), CULTIVAR CCN-51*. Machala: UTMACH FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS.
- RAE. (s.f.). Diccionario de la Lengua Española. <https://dle.rae.es/>. Obtenido de <https://dle.rae.es/morfolog%C3%ADa>
- Romero, M. A. (2019). *RESPUESTAS FISIOLÓGICAS Y MORFOLÓGICAS DE CACAO (Theobroma cacao L.) CLON CCN 51 A LA FERTILIZACIÓN CON DIFERENTES FUENTES DE NITRÓGENO*. Loja - Ecuador: UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES.
- Ruiz Santiago, F. L., Ruiz Velázquez, J. A., Hernández Becerra, J. A., García Jiménez, R., & Valadez Villarreal, A. (2019). *Extracción y cuantificación de clorofila en hojas comestibles del estado de Tabasco*. Mexico: Universidad Tecnológica de Tabasco, División de Procesos Industriales, Carretera Villahermosa-Teapa Km 14.6 S/N Fracc. Parrilla II, Parrilla, Centro, Tabasco, México.
- Sánchez Mora, F. D., Garcés Fiallos, F. R., Váscquez Montúfar , G. H., Vera Chang, J. F., Zambrano Montufar, J., & Ramos Remache, R. (2014). Productividad de clones cacao tipo nacional en una zona de bosque húmedo tropical de la provincia de los Ríos, Ecuador. *Ciencia y Tecnología*.
- Sánchez-Mora, F. D., Medina-Jara, S. M., Díaz-Coronel, G. T., Ramos-Remache, R. A., Vera-Chang, J. F., Vásquez-Morán, V. F., . . . Onofre-Nodari, R. (2015). Potencial sanitario y productivo de 12 clones de cacao en Ecuador. *Revista fitotecnia*

mexicana *Scielo*, 38(3). Obtenido de
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802015000300005

Snoeck, D. K. (2016). *Cacao Nutrition and Fertilization*. Springer International Publishing.

Torres, L. (2012). *Manual de producción de cacao fino de aroma a través de manejo*. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca: Facultad de Ciencias Agropecuarias. Obtenido de
<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3250/1/TESIS.pdf>

UNCTAD. (12 de junio de 2021). *Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo*. Obtenido de Youtube.com:
<https://www.youtube.com/watch?v=MgCaFSYgrHA>

UPAO. (2014). *POTENCIA ENTRE FUENTE Y VERTEDERO*. Trujillo - Perú : Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agrónoma .

Van Vliet J., S. M. (2017). Mineral Nutrition of Cocoa. *A Review*, 141: 185-270.

Vera, G. (2017). *Tipos de cacao: forastero, criollo y trinitario*. Obtenido de cocinayvino.com: <https://www.cocinayvino.com/mundo-gourmet/tipos-cacao-forastero-criollo-trinitario/>

11. Anexos

Anexo 1. Evidencias fotográficas



Fotografía 1. Instalación del Proyecto



Fotografía 2. Recolección de datos y fertilización



Fotografía 3. Recolección de muestras para AF



Fotografía 4. Adaptación para cálculo de área de programa foto shop



Fotografía 5. Recoleccion de muestras finales



Fotografía 6. Toma de datos finales



Fotografía 7. Etiquetado y embolsado de muestras



Fotografía 8. Embolsado y empaquetado de muestras

Anexo 3. Resultados de CIC del suelo del Padmi, realizados en la estación experimental Santa Catalina

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

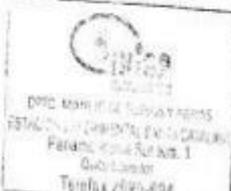
REPORTE DE ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

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

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

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


 RESPONSABLE DEL LABORATORIO


 DPO - MANEJO DE SUELOS Y AGUAS
 ESTACIÓN EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
 Panamericana Sur Km. 1
 Quito Ecuador
 Teléfono 3007-034


 LABORATORISTA

Anexo 4. Dosis de corrección en base al análisis de suelo

Déficit = Requerimiento- resultado del análisis de suelo

Déficit de S = 10 ppm – 5,8 ppm = 4,2 ppm

Déficit de B = 0,5 ppm – 0,1 ppm = 0,4 ppm

$$\text{Dosis de corrección} = \frac{\text{Déficit} * \text{prof} * \text{Da} * 10}{\text{eficiencia}}$$

$$\text{Dosis de Corrección de S} = \frac{4,2 * 0,2 * 1,3 * 10}{0,26}$$

Dosis de Corrección de S = 42 kg Ha⁻¹

714 plantas 42 kg Ha⁻¹

1 planta x=?

X= 0,058 kg de S por planta

$$\text{Dosis de Corrección de B} = \frac{0,4 * 0,2 * 1,3 * 10}{0,26}$$

Dosis de Corrección de S = 4 kg Ha⁻¹

714 plantas 4 kg Ha⁻¹

1 planta x=?

X= 0,0056 de B kg por planta

Anexo 5. Cálculos de cantidad de elementos requeridos por planta

Nitrógeno (N)

714 plantas 136 kg Ha⁻¹

1 planta x=?

X= 0,19 kg de N por planta

Fósforo (F)

714 plantas 14 kg Ha⁻¹

1 planta x=?

X= 0,019 kg de F por planta

Potasio (K)

714 plantas 156 kg Ha⁻¹

1 planta x=?

X= 0,22 kg de K por planta

Magnesio (Mg)

714 plantas 47 kg Ha⁻¹

1 planta x=?

X= 0,065 kg de Mg por planta

Calcio (Ca)

714 plantas 113 kg Ha⁻¹

1 planta x=?

X= 0,16 kg de Ca por planta

Anexo 6. Cantidad de fertilizante por planta

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

100 kg de DAP 46 kg de P

X=? 14 kg de P X= 30,43 Kg ha⁻¹ de DAP

30,43/ 714 = 0,042 kg de DAP por planta

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

100 kg de Ca(NO₃)₂ 26 kg de Ca

X=? 113 kg de Ca X= 434,6 Kg ha⁻¹ de Ca(NO₃)₂

434,6 / 714 = 0,608 Ca(NO₃)₂ por planta

Aporte de nitrógeno

100 kg de Ca(NO₃)₂ 15 kg de N

434,6 kg de Ca(NO₃)₂ x =? X= 65,19 kg de N 136 kg de N
– 65,19

kg de N = 70,81 kg de N Faltan.

Nitrato de amonio (33 % N)

100 kg de NH₄NO₃ 33 kg de N

X=? 70,81 kg N X= 214,57 Kg ha⁻¹ de NH₄NO₃

214,57 / 714 = 0,30 kg de NH₄NO₃ por planta

Sulfato de magnesio (16 % Mg; 13 % S)

100 kg de MgSO₄ 16 kg de Mg

X=? 47 kg de Mg X= 293,75 kg ha⁻¹ MgSO₄

293,75 / 714 = 0,41 kg de MgSO₄ por planta

Aporte de azufre

100 kg de MgSO₄ 13 kg de S

Anexo 8. Certificación de traducción del resumen

Loja, 13 de junio de 2022

Yo, **Melody Crystal Waters**, con numero de cedula **0152286340**, licenciada en educación de idiomas extranjeras y nativa del idioma inglés.

CERTIFICO:

Haber realizado la traducción textual del documento adjunto, correspondiente al trabajo de titulación denominado: **“Respuestas morfológicas y fisiológicas en cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad “EETP 800” bajo tres niveles de nutrición, en la provincia de Zamora Chinchipe – Ecuador”**, elaborado por **Saúl Eduardo Gutiérrez Calva**, con numero de cedula **1104227622**.

Es todo lo que puedo certificar en honor a la verdad, facultando al portador el presente documento para el trámite correspondiente.

Atentamente. –

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Melody Waters', with a long horizontal stroke extending to the right.

Lic. Melody Crystal Waters
Cedula: 0152286340
E – mail: melody.waters22@gmail.com