



1859



Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agronómica.

### CRECIMIENTO VEGETAL Y PARÁMETROS FISIOLÓGICOS DEL CULTIVO DE CACAO CLON EETP 800 EN RESPUESTA A LA VARIACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR Y LA FERTILIZACIÓN EN EL SECTOR DEL PADMI, ZAMORA CHINCHIPE.

Trabajo de titulación previo  
a la obtención del título de  
Ingeniero Agrónomo.

#### AUTOR:

Manuel Anthony Cordero Rojas.

#### DIRECTOR:

Dr. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD.

Loja-Ecuador

2022



## CERTIFICADO

Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD.  
DIRECTOR DE TESIS

### CERTIFICA:

Que luego de haber dirigido y revisado el trabajo de tesis titulado:  
**“CRECIMIENTO VEGETAL Y PARAMETROS FISIOLÓGICOS DEL CULTIVO DE CACAO CLON EETP 800 EN RESPUESTA A LA VARIACION DE LA RADIACION SOLAR Y LA FERTILIZACION EN EL SECTOR DEL PADMI, ZAMORA CHINCHIPE”**,

previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, del egresado **Manuel Anthony Cordero Rojas**, 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 de la Universidad Nacional de Loja.

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

Loja, 30 de marzo de 2022



Firmado electrónicamente por:  
**SANTIAGO  
CRISTOBAL VASQUEZ  
MATUTE**

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

**DIRECTOR DE TESIS**

## **AUTORÍA.**

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



**Firma:** .....

**Cédula de identidad:** 1105935413

**Fecha:** 30 de junio del 2022

**Correo electrónico:** manuel.cordero@unl.edu.ec

**Celular:** 0997090658

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

Yo, Manuel Anthony Cordero Rojas, declaro ser autor de la tesis titulada “**CRECIMIENTO VEGETAL Y PARAMETROS FISIOLÓGICOS DEL CULTIVO DE CACAO CLON EETP 800 EN RESPUESTA A LA VARIACION DE LA RADIACION SOLAR Y LA FERTILIZACION EN EL SECTOR DEL PADMI, ZAMORA CHINCHIPE.**” como requisito para optar el título de Ingeniero Agrónomo, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional. Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RI, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero. Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los treinta días del mes de junio del dos mil veintidós.

**Firma:** .....  Empleado electrónicamente por:  
**MANUEL ANTHONY**  
**CORDERO ROJAS**

**Autor:** Manuel Anthony Cordero Rojas. **Cédula:** 1105935413

**Dirección:** Ciudadela Julio Ordoñez, Manzana Q

**Correo electrónico:** manuel.cordero@unl.edu.ec

**Celular:** 0997090658

### **DATOS COMPLEMENTARIOS.**

**Director del trabajo de titulación:** Dr. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD.

#### **Tribunal de grado.**

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| PhD. Max Enrique Encalada Córdova  | Presidente |
| PhD. Marlene Lorena Molina Müller  | Vocal      |
| PhD. Alex Eduardo Salazar González | Vocal      |

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo primeramente a Dios y a la Santísima Virgen del Cisne que guiaron mis pasos a lo largo de mi carrera. A mis padres y hermanos que gracias a su apoyo emocional y económico me dieron ese empuje que necesitaba y con gran esfuerzo pude alcanzar esta meta tan importante en mi vida, a mis sobrinas que son la fuente de inspiración en mi hogar ya que nos dan la fuerza de superarnos tanto a mí como a mis hermanos y nos ayudan a ser mejores personas y por consiguiente un ejemplo para ellas.

**Manuel Anthony Cordero Rojas.**

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, a Dios y a la Virgen por la vida y la salud, para culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres Manuel Cordero y Rosa Rojas que son la base de mi familia.

A mis hermanos Fanny, Jennifer, José Luis y Pablo Cordero

A mis sobrinas Ainhoa Isabela y Amelia Isabel

A mi abuelita Fanny González.

A toda mi familia y amigos.

A mi director de tesis Dr. Santiago Vásquez por sus consejos y la guía que me brindó en mi trabajo.

A mis compañeros Byron, Ana, Vicky, Lady que fuimos grandes amigos a lo largo de la carrera.

A mis ángeles en el cielo mis papitos Luis y Olinda.

Muchas gracias infinitas.

**Manuel Anthony Cordero Rojas.**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|  |      |
|--|------|
| <b>PORTADA</b> .....                             | i    |
| <b>CERTIFICACION DEL DIRECTOR DE TESIS</b> ..... | ii   |
| <b>AUTORÍA</b> .....                             | iii  |
| <b>CARTA DE AUTORIZACIÓN</b> .....               | iv   |
| <b>DEDICATORIA</b> .....                         | vi   |
| <b>AGRADECIMIENTO</b> .....                      | vii  |
| <b>INDICE DE CONTENIDOS</b> .....                | viii |
| <b>INDICE DE FIGURAS</b> .....                   | xii  |
| <b>INDICE DE TABLAS</b> .....                    | xv   |
| <b>INDICE DE ANEXOS</b> .....                    | xvi  |
| <b>1. TÍTULO</b> .....                           | 1    |
| <b>2. RESUMEN</b> .....                          | 2    |
| <b>2.1 ABSTRACT</b> .....                        | 3    |
| <b>3. INTRODUCCION</b> .....                     | 4    |
| <b>Objetivo General</b> .....                    | 6    |
| <b>Objetivos específicos</b> .....               | 6    |
| <b>4. REVISION DE LITERATURA</b> .....           | 7    |
| <b>4.1 Origen y distribución de cacao</b> .....  | 7    |
| <b>4.2 Taxonomía</b> .....                       | 8    |
| <b>4.3 Descripción botánica</b> .....            | 9    |
| <b>4.3.1 Sistema radical</b> .....               | 6    |
| <b>4.3.2 Hojas</b> .....                         | 9    |
| <b>4.3.3 Flores</b> .....                        | 9    |
| <b>4.3.4 Fruto</b> .....                         | 9    |
| <b>4.3.5 Semillas</b> .....                      | 10   |
| <b>4.4 Variedades tipo de cacao</b> .....        | 10   |

|   |    |
|---|----|
| 4.4.1 Fotestero o amargo.....   | 10 |
| 4.4.2 Criollo o dulce.....  | 10 |
| 4.4.3 Trinitario.....   | 10 |
| 4.5 Clon EETP 800.....  | 11 |
| 4.5.1 Zonas recomendadas para la siembra.....                         | 11 |
| 4.5.2 Distanciamiento de sombra .....                                 | 11 |
| 4.6 Ecología y fisiología.....  | 12 |
| 4.6.1 Precipitación .....   | 12 |
| 4.6.2 Temperatura.....  | 13 |
| 4.6.3 Humedad relativa.....   | 13 |
| 4.7 Fenología.....  | 14 |
| 4.8 Ph y conductividad eléctrica del suelo. ....                      | 17 |
| 4.9 Sombra.....   | 18 |
| 4.9.1 Efecto de la sombra en el crecimiento del cultivo de cacao..... | 18 |
| 4.9.2 Tipo de sombra.....   | 19 |
| 4.9.3 Determinación de la sombra .....                                | 19 |
| 4.10 Fertilización .....  | 20 |
| 4.11 Fertilización orgánica del cacao .....                           | 20 |
| 4.12 Nutrición mineral del cacao .....                                | 21 |
| 4.12.1 Nitrogeno.....   | 21 |
| 4.12.2 Fosforo.....   | 21 |
| 4.12.3 Potasio .....  | 22 |
| 4.13 Interacción sombra y nutrición .....                             | 22 |
| 5. METODOLOGÍA.....   | 23 |
| 5.1 Ubicación del estudio.....  | 23 |
| 5.2 Métodos.....  | 24 |
| 5.2.1 Tipos de investigación.....                                     | 24 |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>5.3</b> | <b>Diseño experimental y análisis estadístico.....</b>             | <b>24</b> |
| 5.3.1      | Esquema del diseño en campo.....                                   | 25        |
| 5.3.2      | Modelo estadístico.....  | 25        |
| <b>5.4</b> | <b>Metodología general .....</b>                                   | <b>26</b> |
| 5.4.1      | Establecimiento y manejo del ensayo.....                           | 26        |
| <b>5.5</b> | <b>Metodología por objetivo .....</b>                              | <b>27</b> |
| 5.5.1      | Metodología para el primer objetivo. ....                          | 27        |
| 5.5.2      | Altura de la planta. ....  | 27        |
| 5.5.3      | Diámetro del tallo.....  | 27        |
| 5.5.4      | Área de la sección transversal del tronco ASTT .....               | 27        |
| 5.5.5      | Longitud del brote.....  | 27        |
| 5.5.6      | Tasa de crecimiento absoluta .....                                 | 27        |
| 5.5.7      | Tasa de crecimiento relativa .....                                 | 28        |
| 5.5.8      | Área foliar e índice de área foliar .....                          | 28        |
| 5.5.9      | Diámetro de copa.....  | 28        |
| <b>5.6</b> | <b>Metodología para el segundo objetivo .....</b>                  | <b>29</b> |
| 5.6.1      | Concentración de clorofila .....                                   | 29        |
| 5.6.2      | Densidad estomática.....   | 31        |
| 5.6.3      | Índice estomático .....  | 31        |
| 5.6.4      | Determinación de pH del suelo y conductividad eléctrica.....       | 31        |
| <b>6.</b>  | <b>RESULTADOS.....</b>   | <b>32</b> |
| <b>6.1</b> | <b>Variables morfológicas .....</b>                                | <b>32</b> |
| 6.1.1      | Altura de planta.....  | 32        |
| 6.1.2      | Diámetro del tallo .....   | 33        |
| 6.1.3      | Área de la sección transversal del tronco .....                    | 34        |
| 6.1.4      | Longitud de brote y tasas de crecimiento, absoluta y relativa..... | 36        |
| 6.1.5      | Área foliar e Índice de área foliar .....                          | 40        |

|   |    |
|---|----|
| <b>6.2 Variables fisiológicas</b> .....                               | 44 |
| <b>6.2.1 Concentración de clorofila</b> .....                         | 44 |
| <b>6.2.2 Densidad estomática</b> .....                                | 45 |
| <b>6.2.3 Índice estomático</b> .....                                  | 46 |
| <b>6.2.4 Análisis de pH y conductividad eléctrica del suelo</b> ..... | 47 |
| <b>6.2.5 Correlaciones de variables</b> .....                         | 49 |
| <b>7. DISCUSIÓN</b> .....   | 51 |
| <b>8. CONCLUSIONES</b> .....  | 57 |
| <b>9. RECOMENDACIONES</b> .....                                       | 59 |
| <b>10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....                           | 60 |
| <b>11. ANEXOS</b> .....   | 66 |

## ÍNDICE DE FIGURAS.

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Países productores de cacao.....   | 8  |
| <b>Figura 2.</b> Diseños de plantación recomendadas para el clon EETP-800.....  | 11 |
| <b>Figura 3.</b> Ubicación de lugar de estudio (Estación experimental El Padmi). ....   | 24 |
| <b>Figura 4.</b> Esquema del diseño experimental en campo .....   | 26 |
| <b>Figura 5.</b> Crecimiento de plantas de cacao clon EETP-800 desde los 0 a 80 días de la aplicación de tratamientos, no se encontraron diferencias significativas ( $p>0,05$ ).....                 | 33 |
| <b>Figura 6.</b> Incremento de altura del clon EETP-800. DDAT: días después de la aplicación de los tratamientos. ....  | 34 |
| <b>Figura 7.</b> Crecimiento del diámetro del portainjerto desde el inicio del ensayo hasta el final, Barras verticales representan el error estándar.....  | 35 |
| <b>Figura 8.</b> Área de sección transversal del tronco del portainjerto (ASTT PI) del clon EETP-800 bajo cuatro tratamientos; Barras verticales representan el erro estándar. ....                   | 36 |
| <b>Figura 9.</b> Área de sección transversal del tronco de la baretta (ASTT B) del clon EETP-800 bajo cuatro tratamientos; Barras verticales representan el erro estándar. ....                       | 37 |
| <b>Figura 10.</b> Incremento en el ASTT del portainjerto y baretta del clon EETP-800 bajo 4 diferentes tratamientos. N.S. Barras verticales representan el erro estándar. ....                        | 38 |
| <b>Figura 11.</b> Dinámica de crecimiento del brote del clon EETP-800 sometido bajo cuatro tratamientos. ....   | 39 |
| <b>Figura 12.</b> Incremento de la longitud de brote del clon EETP-800 bajo cuatro tratamientos N.S. Barras verticales representan el error estándar.....   | 40 |
| <b>Figura 13.</b> Tasa de crecimiento relativa (TCR) tanto de altura como de longitud de brote del clon EETP-800 bajo cuatro tratamientos. N.S. Barras verticales representan el error estándar. .... | 41 |
| <b>Figura 14.</b> Tasa de crecimiento relativo en brotes de cacao clon EETP-800, TCA B: Tasa de   |    |

|   |    |
|---|----|
| crecimiento absoluta del brote, TCA A: Tasa de crecimiento absoluta de altura, Barras<br>verticales representan el error estándar. ....   | 42 |
| <b>Figura 15.</b> Gráfico de puntos del área foliar versus ancho de la hoja determinado a partir de<br>hojas de cacao clon EETP-800.....  | 42 |
| <b>Figura 16.</b> Área foliar (AF) del clon EETP-800 bajo cuatro tratamientos. N.S. Barras<br>verticales representan el error estándar del tratamiento. ....  | 44 |
| <b>Figura 17.</b> Índice de área foliar del clon EETP-800 bajo cuatro tratamientos. N.S. Barras<br>verticales representan el error estándar. ....   | 45 |
| <b>Figura 18.</b> Diámetro de copa del clon EETP-800 bajo cuatro tratamientos, Barras verticales<br>representan el error estándar.....  | 46 |
| <b>Figura 19</b> Concentración de clorofila total, contenido en hojas de cacao clon EETP-800, a los<br>180 días después de la aplicación de los tratamientos, no se encontraron diferencias<br>significativas ( $p < 0,05$ ), Barras verticales representan el error estándar. .... | 47 |
| <b>Figura 20.</b> Estomas en hojas de cacao clon EETP-800, observados en el microscopio con un<br>aumento de 20X. En donde la flecha roja indica las células oclusivas y el ostiolo de un<br>estoma, La flecha amarilla indica células epidérmicas. ....                            | 47 |
| <b>Figura 21.</b> Número de estomas por $\text{mm}^2$ del clon EETP-800, en cuatro tratamientos, Barras<br>verticales representan el error estándar .....   | 48 |
| <b>Figura 22.</b> Índice estomático del clon EETP-800, bajo cuatro tratamientos, T1: Testigo, T2:<br>Fertilización 100% - sombra 0%, T3: Fertilización 0% - sombra 80%, T4: Fertilización 100%<br>- sombra 80% N.S. Barras verticales representan el error estándar. ....           | 49 |
| <b>Figura 23.</b> pH del suelo bajo cuatro tratamientos en el clon EETP-800.....  | 50 |
| <b>Figura 24.</b> Conductividad eléctrica del suelo (C.E) del clon EETP-800 bajo cuatro<br>tratamientos. ....   | 50 |

## Índice de tablas.

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1</b> Etapa de crecimiento principal 0: Germinación de semillas7 propagación vegetativa.<br>.....   | 13 |
| <b>Tabla 2</b> Etapa de crecimiento principal 1: Desarrollo de las hojas en el brote principal de la planta joven y en las ramas de abanico. ....  | 14 |
| <b>Tabla 3</b> Etapa de crecimiento principal 2: Alargamiento de tallo principal, formación de la joroba de ramas de abanico y chupón. ....  | 15 |
| <b>Tabla 4</b> Etapa de crecimiento principal 3: Alargamiento de la rama de abanico. ....  | 17 |
| <b>Tabla 5</b> Estadio principal de crecimiento 5: Emergencia de la inflorescencia.....  | 17 |
| <b>Tabla 6</b> Etapa principal de crecimiento 6: Floración. ....   | 17 |
| <b>Tabla 7</b> Fertilización aplicada a los tratamientos del ensayo. ....  | 27 |
| Tabla 8 Descripción de los tratamientos descritos en el ensayo. ....   | 30 |
| <b>Tabla 9</b> Crecimiento en altura (cm) de cacao Clon EETP-800 bajo cuatro tratamientos, E.E, n.s: diferencias no significativas entre las medias, durante 80 días. ....   | 34 |
| <b>Tabla 10</b> Longitud de brote (cm) de cacao clon EETP-800, bajo cuatro tratamientos distintos, * representa ( $p < 0,05$ ), ** representa ( $p < 0,01$ ), n.s: diferencias no significativas entre las medias..... | 39 |
| <b>Tabla 11</b> Correlaciones de variables morfológicas y fisiológicas .....   | 51 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Anexo 1. Evidencias fotográficas.....</b>                                    | <b>72</b> |
| <b>Anexo 2. Operalización de variables a medir.....</b>                         | <b>72</b> |
| <b>Anexo 3. Análisis de suelo previo a la fertilización.....</b>                | <b>72</b> |
| <b>Anexo 4. Resultados de las muestras de suelo enviadas a laboratorio.....</b> | <b>72</b> |
| <b>Anexo 5. Resultados del contenido de clorofila de muestras de hojas.....</b> | <b>72</b> |
| <b>Anexo 6. Certificación de traducción del Abstract.....</b>                   | <b>72</b> |

**“CRECIMIENTO VEGETAL Y PARÁMETROS FISIOLÓGICOS  
DEL CULTIVO DE CACAO CLON EETP 800 EN RESPUESTA A  
LA VARIACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR Y LA  
FERTILIZACIÓN EN EL SECTOR DEL PADMI, ZAMORA  
CHINCHIPE.”**

## 2. RESÚMEN.

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), es muy importante en Ecuador, es uno de los principales productos de exportación y una de sus fuentes económicas y sociales generando importantes divisas. La fertilización en cacao es de gran importancia ya que las dosis recomendadas de aplicación de nutrientes varían en más de diez veces, sin conocer el tipo de suelo afectando su rendimiento. La sombra ayuda a proteger las plantas de cacao de la exposición a demasiado sol, mejora las condiciones ambientales en estas áreas, produce mayor contenido de materia orgánica del suelo ayudando al cultivo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la respuesta de dos niveles de sombra y fertilización sobre variables morfológicas y fisiológicas en el clon "EETP 800". El ensayo se realizó en la Quinta Experimental "El Padmi", de la Universidad Nacional de Loja, bajo un diseño experimental completamente aleatorizado con arreglo bifactorial, considerando un total de 4 tratamientos y 3 repeticiones. A nivel morfológico se evaluaron cada 20 días variables como: altura de planta, longitud de brotes, tasas de crecimiento absoluto (TCA), tasa de crecimiento relativo (TCR), diámetro de copa, área foliar, índice de área foliar y área de la sección transversal del tronco (ASTT). Las variables fisiológicas evaluadas fueron: concentración de clorofila A, B y total, densidad estomática, índice estomático, pH y conductividad eléctrica (CE) en el suelo. Como resultados en la mayoría de variables evaluadas no existió interacción entre los factores sombra y fertilización a excepción de la longitud de brotes en donde el factor sombra influyó significativamente ( $p < 0,05$ ) y conductividad eléctrica que fue significativa ( $p < 0,05$ ), en los tratamientos con fertilización. En área foliar, las plantas con sombra de 80% alcanzaron un promedio de: 52401.80 cm<sup>2</sup>. La mayor concentración de clorofila y densidad estomática se registró en plantas bajo sombra del 80 % con medias de 48,51 ml g<sup>-1</sup> y 924,58 estomas mm<sup>2</sup>. Los resultados de este trabajo nos dan a conocer la importancia de la sombra en etapas tempranas del cultivo, es por ello que es necesario seguir con la investigación.

**Palabras clave:** *Theobroma cacao* L., fertilización, sombra, estructura, funcionamiento.

## ABSTRACT.

The cultivation of cocoa (*Theobroma cacao* L.), is very important in Ecuador, it is one of the main export products and one of its economic and social sources generating important foreign exchange. Fertilization in cocoa is of great importance because the recommended doses of nutrient application vary by more than ten times, without knowing the type of soil, affecting its performance. Shade helps protect cocoa plants from exposure to too much sun, improves environmental conditions in these areas, and produces a higher content of organic matter in the soil, helping the crop. The objective of this study was to evaluate the response of two levels of shade and fertilization on morphological and physiological variables in clone "EETP 800". The trial was conducted at the Experimental Farm "El Padmi" of the National University of Loja, under a completely randomized experimental design (CRD) with a bifactorial arrangement, considering a total of 4 treatments and 3 replications. At the morphological level, the following variables were evaluated every 20 days: plant height, shoot length, absolute growth rate (AGR), relative growth rate (RGR), crown diameter, leaf area, leaf area index and area of the trunk cross section (ASTT). The physiological variables evaluated were: chlorophyll A, B and total chlorophyll concentration, stomatal density, stomatal index, leaf anatomical structure, pH and soil electrical conductivity (EC). For most of the variables evaluated, there was no interaction between the factors shade and fertilization, except for shoot length, which was significantly influenced by the shade factor ( $p < 0.05$ ), and electrical conductivity, which was significant ( $p < 0.05$ ) in the treatments with fertilization. In leaf area, plants with 80% shade reached an average of: 52401.80 cm<sup>2</sup>. The highest chlorophyll concentration and stomatal density was recorded in plants under 80% shade with means of 48.51 ml g<sup>-1</sup> and 924.58 stomata mm<sup>2</sup>. The results of this work show us the importance of shade in early stages of the crop, which is why it is necessary to continue with the research.

**Key words:** *Theobroma cacao* L., fertilization, shade, structure, performance.

### 3. INTRODUCCION.

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) posee gran relevancia socioeconómica a nivel mundial y sobre todo en América Latina y el Caribe, según estudios realizados por la FAO (2018); de 1961 a 2018, se comercializó un promedio de 3.17 millones de toneladas, favoreciendo las exportaciones que reflejan incrementos sostenidos en el mercado mundial. Es uno de los principales productos de exportación, ya sea como materia prima o sus elaborados.

Entre los países que más importan este cultivo se encuentran los de la Unión Europea con un 64% del total, seguidos por Asia con un 20% y Norte América con 16%, he aquí la importancia que surge de mejorar los sistemas de producción por parte de los países productores para hacer frente a los requerimientos del mercado mundial actual (Sánchez *et al.*, 2020),

Los compradores más importantes de cacao ecuatoriano son EE. UU (60%), Japón y Francia (20%), Holanda, Alemania, Italia, Canadá, España y Bélgica. También se exporta semi-elaborados (licor de cacao, pasta, manteca de cacao, polvo de cacao) y elaborados (chocolates) con destino a EEUU, Chile, Colombia, Holanda, Nueva Zelanda, Perú, Francia, Bélgica, España, México y Japón (Espinosa & Mosquera, 2011).

Este cultivo con el pasar de los años se ha constituido como una alternativa eficaz para enfrentar distintos problemas como los efectos del cambio climático, para concretar procesos de paz, constituyéndose en varios países en una opción viable para sustituir cultivos ilícitos y otros cultivos menos rentables (FAO, 2018).

En Ecuador el cultivo de cacao es de gran importancia ya que constituye la base de su economía, debido a que es uno de los principales productos de exportación, generando importantes divisas. Varios genotipos de cacao ecuatoriano son considerados a nivel mundial como cacao fino y de aroma, ya que nuestro país por sus condiciones geográficas y su riqueza en recursos biológicos, es el productor por excelencia de este tipo de cacao (63% de la producción mundial) cuyo sabor ha sido reconocido durante siglos en el mercado internacional, siendo en la actualidad el quinto producto más exportado dentro de las exportaciones no petroleras del país (Abad *et al.*, 2019).

La producción del cacao en Ecuador está radicada principalmente en la zona costera en las provincias de Manabí, Los Ríos, Guayas, Esmeraldas, El Oro y Santo Domingo de los

Tsáchilas; en la Sierra en las provincias de, Cotopaxi, Bolívar, Cañar, y en la región Amazónica en las provincias de Orellana, Napo y Zamora Chinchipe (Lopez, 2015).

El clon EETP 800 es uno de los nuevos clones de INIAP que disponen de un perfil sensorial que lo ubica dentro de los llamados cacaos finos y de aroma. Este es el resultado de un arduo trabajo por más de dos décadas de investigación y desarrollo en el área de mejoramiento genético, con lo cual se demuestra que sí es posible aumentar significativamente los niveles de producción por hectárea en el cacao tipo Nacional fino y de aroma, a niveles iguales o superiores al CCN51 (Solorzano, 2019).

Sin embargo, pese a la gran relevancia que tiene el cultivo, no se le ha dado la importancia necesaria y por ende se han generado múltiples problemas, debido a que gran parte de la investigación primaria a nivel nacional se llevó a cabo hace más de 40 años. Las dosis recomendadas de aplicación de nutrientes varían en más de diez veces. Aún no se han explicado las diferencias de respuesta entre los genotipos, regiones y campos. Sin este conocimiento fundamental, las recomendaciones a nivel de finca tienen una base científica débil (Van Vliet & Giller, 2015).

La producción de cacao bajo sombra ha sido siempre un tema de discusión entre los productores, por ejemplo, Sukanan (2020) manifestó que muchos agricultores prefieren cultivar a luz directa para aumentar sus rendimientos, ellos talan otros árboles y sus copas para no competir con las plantaciones de cacao por nutrientes y luz solar, pese a que esta práctica tradicional requiere muchos fertilizantes químicos y pesticidas, lo que degrada la calidad del suelo con el tiempo. Sin embargo, en otros países, muchos árboles de cacao se cultivan bajo las copas de varios árboles, lo que ayuda a proteger las plantas de cacao de la exposición a demasiado sol (Navarro & Mendoza, 2006). La práctica también puede mejorar las condiciones ambientales en estas áreas y mejorar el contenido de materia orgánica del suelo. A pesar de que el cacao que produce bajo el sol puede producir mayores rendimientos a corto plazo, los investigadores detrás del estudio han encontrado que las plantas de cacao cultivadas a la sombra de los árboles producen los mismos rendimientos al final. Tales contradicciones surgen precisamente de la ambigüedad o falta de claridad de las condiciones en las que se han realizado estos estudios (Van Vliet & Giller, 2015).

Según Ramírez (2010) en la provincia de Zamora Chinchipe se siembra cacao en los valles del corredor fluvial del río Zamora – Nangaritzta, que es una microrregión con gran

potencial para la producción de este cultivo. Esta microrregión está constituida políticamente por los cantones Centinela del Cóndor, Yantzaza, Nangaritza y El Pangui, en los que la producción de cacao se ha convertido en una actividad económica importante, aunque el cultivo enfrenta dificultades como: el bajo nivel de producción y productividad causado por las deficiencias nutricionales, débiles procesos de capacitación y técnicas de producción. Esto ocasiona que los agricultores busquen obtener respuestas y mejores maneras de producir. Cuanto más correctas sean sus respuestas mayor será la confianza que ellos le depositarán, ya que con un correcto plan de fertilización les permitirá mejorar la producción de los cultivos y consecuentemente los ingresos de los agricultores (FAO, 2012).

En la provincia de Zamora Chinchipe no se han realizado estudios que evalúen el comportamiento agronómico del genotipo EETP800, por consiguiente, se desconoce su adaptabilidad a este ambiente, así como, no se conoce si existen problemas por la presencia de elementos contaminantes como el cadmio, y su relación con la variación de la radiación solar y la nutrición. Por lo tanto, este proyecto pretende, avanzar en el conocimiento de estos factores, lo que permitiría mejorar la toma de decisiones agronómicas para el manejo de este cultivo.

#### **Objetivo general.**

- Evaluar el efecto de la disminución de la radiación solar y la fertilización sobre rasgos morfológicos y fisiológicos en el cultivo de cacao, clon EETP 800 en el sector del Padmi, Provincia de Zamora Chinchipe.

#### **Objetivos específicos**

- Determinar la influencia de dos niveles de radiación solar y fertilización, sobre variables morfológicas, durante el crecimiento temprano del cultivo de cacao.
- Determinar la influencia de dos niveles de radiación solar y fertilización, sobre variables fisiológicas, en etapas tempranas del cultivo de cacao.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 Origen y distribución del cacao.

El género *Theobroma* es originario de la cuenca alta del río Amazonas ubicado en América Tropical. Este género debido a sus propiedades posee especies de gran relevancia económica, principalmente el *Theobroma cacao*. Las semillas son de gran utilidad ya que son utilizadas para la preparación de bebidas y otros alimentos, como moneda, bebida ceremonial y tributo a reyes. En la actualidad se encuentra distribuida a lo largo de las regiones lluviosas de los trópicos, desde los 20° de latitud norte hasta los 20° de latitud sur (Vaca & Zamora, 2010).

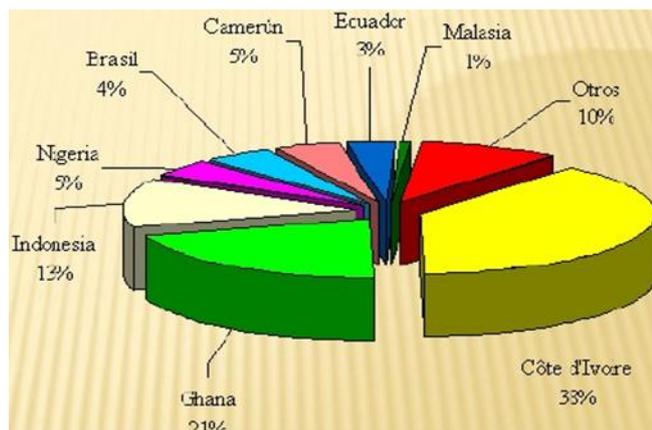
La semilla de cacao es de gran relevancia para industrias alimentarias y de otros tipos. Constituyen la materia prima para la producción de pasta de cacao, para la elaboración de chocolate, bizcochos y pasteles y cacao en bloques con destino a fábricas de diversos países. La manteca de cacao, a su vez, es utilizada en la confitería, chocolatería, perfumería y farmacia (Liendo, 2005).

Los subproductos de la industria cacaotera, como cáscaras, materias grasas extraídas de éstas y los embriones, son empleados en la alimentación animal, fabricación de abonos, farmacia y jabonería. El fruto y las hojas tienen usos medicinales en muchos países (Sarango, 2009).

En la actualidad es cultivado en la mayoría de países tropicales, en áreas concentradas entre los 10° de latitudes norte y sur del Ecuador, distribuidas en el Oeste Africano, América Latina y Sud-Este de Asia.

En los últimos años la producción en América latina ha decrecido en casi 13,7%, mientras que en las regiones del Oeste africano y Asia se han extendido rápidamente desde la mitad de la década en un 66,8% y 19,5% respectivamente (CAF, 2017).

Los países de América con mayor producción son Brasil, Ecuador y República Dominicana



**Figura 1.** Países productores de cacao. Fuente: Fuente: Elaboración propia UNCTAD basado según estadística de la Organización Internacional del Cacao (ICCO), boletín trimestral de estadísticas del cacao 2004.

## 4.2 Taxonomía.

**Arévalo *et al.* (2017) detalla la siguiente clasificación taxonómica:**

Nombre Científico: *Theobroma cacao* L.

Reino Plantae

Subreino Tracheobionta

División Magnoliophyta

Clase Magnoliopsida

Subclase Dilleniidae

Orden Malvales

Familia Malvaceae

Tribu Theobromeae

Genero *Theobroma*

### **4.3 Descripción botánica.**

Según Felipe (2014), la planta presenta las siguientes características:

#### **4.3.1 Sistema radical**

El sistema radicular presenta una raíz pivotante que penetra más de 2 m de profundidad, el cual le ayuda a la recolección de nutrientes y de un amplio sistema superficial de raíces literales distribuidas alrededor de 15 cm abajo del área del suelo

#### **4.3.2 Hojas**

Las hojas son perennes, están colocadas en dos filas una en cada lado de la rama, son alternadas, grandes, simples, elípticas u ovaladas, de 20 a 35 cm de largo por 4 a 15 cm de ancho, punta larga, levemente gruesas, orilla lisa, color verde oscuro en el haz y más pálidos en el envés, cuelgan de un peciolo.

#### **4.3.3 Flores**

La flor del cacao es hermafrodita, pentámera de ovario supero esto indica que la flor está constituida por 5 sépalos, cuyo androceo está conformado por 12 filamentos, 5 son fértiles (estambres) y los otros 7 son infértiles (estaminoides), el gineceo (pistilo) está formado por un ovario supero con 5 lóculos funcionado desde la base donde cada uno puede contener de 5 a 15 óvulos, dependiendo del genotipo. Estas características hacen que su polinización sea estrictamente entomófila para lo cual la flor inicia su proceso de apertura con el agrietamiento del botón floral en horas de la tarde. En horas de la mañana al día siguiente la flor está completamente abierta (Zambrano, 2013).

#### **4.3.4 Fruto**

El fruto es resultado de la maduración del ovario. En este género existen frutos que nunca maduran por falta de semillas y por ende abortan, esto han atribuido que esté presente una floración continua durante todo el año; son llamados frutos paternocarpicos (Felipe, 2014). El fruto de cacao es una drupa que varía ampliamente dependiendo de sus características genéticas. Su clasificación dependerá del medio ambiente donde crece y se desarrolla, así como el manejo de la plantación y serán: amelonado, calabacillo, angoleta y cundeamor variando según tipo y especie (Felipe, 2014).

#### **4.3.5 Semilla**

Las semillas tienen forma oblonga y puede variar mucho en su tamaño, algunas semillas en su parte larga son redondeadas como en el caso del cacao tipo Criollo y del Nacional de Ecuador, otras son aplanadas como en el caso de los Forasteros, su color puede llegar a ser blanco ceniciento, blanco puro, hasta morado oscuro y varias tonalidades más (Mosquera, 2016).

#### **4.4 Variedades tipo de cacao.**

##### **4.4.1 Forastero o amargo**

Es la raza más cultivada en las regiones de África y Brasil. Se caracteriza por tener frutos de cáscara dura y leñosa, de superficie relativamente tersa, granos aplanados de color morado y sabor amargo. En la antigüedad más del 90% de la producción mundial pertenecía a estos granos, en donde destacan distintas variedades como Cundeamor, Amelonado, sambito, Calabacillo y Angoleta (ANACAFE, 2004).

##### **4.4.2 Criollo o dulce.**

Esta especie presenta mayor adaptabilidad a distintas condiciones ambientales a diferencia del forastero y poseen frutos de mayor calidad. Sus frutos son de cáscara suave y semillas redondas, con una superficie con surcos longitudinales bien marcados, que van de un color blanco a violeta, dulces y de sabor agradable (ANACAFE, 2004)

##### **4.4.3 Trinitario.**

Esta variedad surge del cruce de la variedad criolla y forastero. Esto hace que sus mazorcas presenten distintas características en sus formas y colores; las semillas son más grandes que el de las otras variedades; las plantas son fuertes, de tronco grueso y hojas grandes. Actualmente es la variedad más cultivada en el mundo debido a sus propiedades (Estrada *et al.*, 2011).

#### **4.5 Clon EETP 800.**

El clon INIAP EETP 800 es resultado de dos décadas de investigación y desarrollo en el área de mejoramiento genético del país, dispone de un perfil sensorial que los ubica

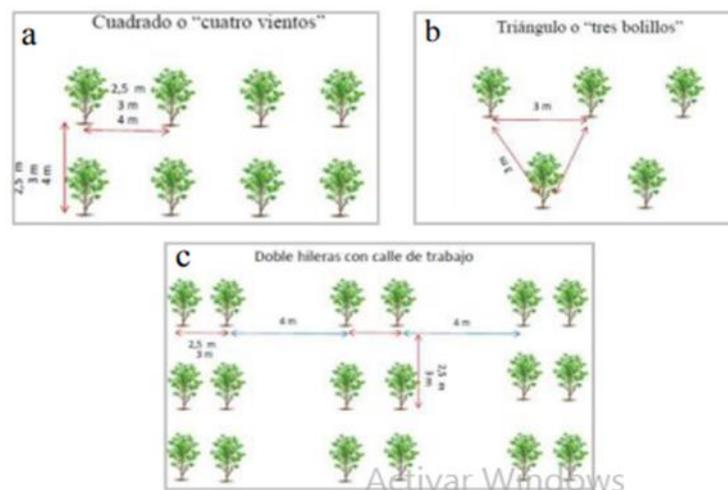
dentro de los llamados cacao finos y de aroma, presenta características de gran importancia para la producción como precocidad y alto rendimiento, lo que aporta al crecimiento de la productividad por hectárea y a la oferta exportable de cacao finos, contribuyendo a la valorización de la cadena productiva y aumentando las divisas que ingresan al país, con lo cual demuestra que es posible mejorar la producción en nuestro país contribuyendo de gran manera a la economía (INIAP, 2018).

#### 4.5.1 Zonas recomendadas para la siembra.

Se han realizado diferentes pruebas experimentales en distintas zonas productoras de cacao en donde este clon ha rendido con un alto grado de adaptación debido a que el potencial genético presenta un gran comportamiento comercial; en alturas máximas a 600 msnm como la cuenca del río Babahoyo, nor-occidente de Pichincha y norte de Guayas (INIAP, 2018)

#### 4.5.2 Distanciamiento de siembra.

Puede ir desde 2,5 x 2,5m hasta 4 x 4 m, ya sea en cuadrado “cuatro vientos” (a), triángulo “tres bolillos” (b) o dobles hileras con calles de trabajo (c). La decisión final estará en función del tipo de terreno, superficie a sembrar, capacidad económica y nivel de intensificación de la producción (INIAP, 2018).



**Figura 2.** Diseños de plantación recomendadas para el clon EETP-800

## **4.6 Ecología y fisiología.**

Intervienen numerosos factores ecológicos cuyas interacciones son complejas y es difícil calibrar la influencia de cada uno de ellos en el conjunto de los elementos que constituye el ambiente, sería normal suponer que las mejores condiciones para su producción son aquellas que se asemejan al clima y al ambiente de la selva tropical amazónica. Actualmente se sabe que las condiciones dependen de varios factores como la sombra, fertilización, labores agronómicas al cultivo, condiciones de suelo, etc. (Zambrano, 2013).

Según el Manual del Cultivo de Cacao (1994), las condiciones favorables para el desarrollo del cacao son:

### **4.6.1 Precipitación.**

El crecimiento y la producción de cacao están ligados a su suministro de agua. De hecho, el cacao es muy sensible a la falta de agua. Además, la precipitación se produce no sólo por su abundancia sino también por su distribución anual. Pero está claro que la precipitación óptima solo se puede determinar con precisión a la luz de todos los factores que afectan el suministro de agua y, en particular, la naturaleza del suelo, su profundidad, sus propiedades físicas y su capacidad de retención de agua.

### **4.6.2 Temperatura**

Las fluctuaciones diarias de temperatura estacional pueden afectar varios procesos fisiológicos de la planta de cacao, por lo que la floración se restringe a temperaturas inferiores a 21°C y superiores a 28°C, el grosor de los tallos no crece a bajas temperaturas y las plantas no crecen a bajas temperaturas. Las fluctuaciones de temperatura diarias débiles superan los 5 °C porque no se produce la formación de brotes ni la germinación de las hojas. Luminosidad: Caracteres efecto del sombraje sobre el crecimiento de jóvenes ha sido estudiado específicamente: el índice de crecimiento Máximo, medido por el diámetro del trunco obtenido en el transcurso de los dos primeros años para 50 cacaos que reciben total fertilización. A medida que los capullos se desarrollen en los años siguientes y la autosombreado se vuelva más importante, la intensidad de luz óptima aumentará al 100 %. El efecto del fertilizante en estos árboles de cacao jóvenes se hizo muy evidente a partir del quinto año de máxima exposición a la luz (Duran, 2014).

### **4.6.3 Humedad Relativa.**

Se refiere al porcentaje de vapor de agua en la atmósfera. Cuando la humedad relativa es baja, con valores por debajo del 70%, las plantas pierden más agua por transpiración. La humedad relativa entre 80 y 85% es normal para el cacao, la humedad por encima del 85% causa problemas con los índices de enfermedades y plantas parásitas. Viento: En condiciones de viento frecuente, las hojas de cacao pierden agua, se secan y caen prematuramente. Este desprendimiento temprano significa que cuando las condiciones son las adecuadas, los cogollos intentan reemplazar las hojas muertas y la planta invierte tanta energía como puede. ya distribuidos para producir frutos, si esto ocurriera durante la época de floración, el daño sería aún mayor (González, 2004).

#### 4.7 Fenología.

Según las etapas de crecimiento fenológico y claves de identificación de BBCH extendidas de la planta de cacao son las siguientes:

**Tabla 1.** Etapa de crecimiento principal 0: Germinación de semillas7 propagación vegetativa.

| <b>Dos<br/>Dígitos</b> | <b>Tres<br/>Dígitos</b> | <b>Descripción</b>  |
|------------------------|-------------------------|---|
| 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   |

**Tabla 2.** Etapa de crecimiento principal 1: Desarrollo de las hojas en el brote principal de la planta joven y en las ramas de abanico.

| <b>Dos Dígitos</b> | <b>Tres Dígitos</b> | <b>Descripción</b>   |
|--------------------|---------------------|--|
| 10                 | 100                 | Cotiledón completamente desplegado<br>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   |
| 19                 | 129                 | El crecimiento de la segunda escalera se ha completado   |
|                    | 120                 | Nueve o más rubores completamente maduros  |

**Tabla 3.** Etapa de crecimiento principal 2: Alargamiento de tallo principal, formación de la joroba de ramas de abanico y chupón.

| <b>Dos Dígitos</b> | <b>Tres Dígitos</b> | <b>Descripción</b>  |
|--------------------|---------------------|---|
| 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 meristema 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 meristema apical se detiene |
| 23                 | 230                 | Formación de la tercera jorqueta 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 meristema 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 jorqueta 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                                      |

**Tabla 4.** Etapa de crecimiento principal 3: Alargamiento de la rama de abanico.

| <b>Dos Dígitos</b> | <b>Tres Dígitos</b> | <b>Descripción</b>  |
|--------------------|---------------------|---|
| 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       |
| 39                 | 309                 | Rama de ventilador primario con 90 o más ramas de ventilador secundario |

**Tabla 5.** Estadio principal de crecimiento 5: Emergencia de la inflorescencia.

| <b>Dos Dígitos</b> | <b>Tres Dígitos</b> | <b>Descripción</b>  |
|--------------------|---------------------|---|
| 51                 | 501                 | Capullos de flores visibles (capullos primordium 150 $\mu$ m de ancho)  |
| 52                 | 502                 | Yemas florales expandidas, aparición de la primordia sepal (yema de <1 mm de largo)   |
| 55                 | 505                 | Capullos florales expandidos, los sépalos encierran el capullo (capullo de 1-2 mm de largo)   |
| 56                 | 506                 | Capullo floral expandido, aparición del pedículo (capullo de 2-3 mm de largo)   |
| 58                 | 508                 | Capullo floral expandido, el capullo pasa de verde a blanco (capullo de 2-4 mm de largo)  |
| 59                 | 509                 | Crecimiento completo del capullo floral (capullos de 6 mm de longitud y 3 mm de tamaño; pedículo de 14 mm), capullos todavía cerrados |

**Tabla 6.** Etapa principal de crecimiento 6: Floración.

| <b>Dos Dígitos</b> | <b>Tres Dígitos</b> | <b>Descripción</b>            |
|--------------------|---------------------|-------------------------------|
| 60                 | 600                 | Las primeras flores se abren  |
| 61                 | 601                 | Comienzo de la floración      |
| 62                 | 602                 | El 10% de las flores se abren |
| 65                 | 605                 | El 50% de las flores se abren |
| 69                 | 609                 | El 90% de las flores se abren |

#### **4.8 pH y conductividad eléctrica.**

Es una de las características más importantes de los suelos porque contribuye a regular la velocidad de descomposición de la materia orgánica, así como la disponibilidad de los elementos nutritivos, expresando la actividad de los iones hidrógeno en la solución del suelo. Esto indica si el suelo es ácido, neutro o alcalino. El cacao se desarrolla bajo rangos extremos desde los muy ácidos hasta los muy alcalinos, cuyos valores oscilan entre 4.5. y 8.5 (Paredes, 2003).

La conductividad eléctrica es conocida como la medida de la concentración de sales solubles, presentes en el sustrato. La solución suelo contiene siempre sales solubles en mayor o menor proporción, pero si esta cantidad aumenta y sobre pasa el límite estimado para un cultivo, éste se ve afectado e inclusive podría morir (Andrade, 2014). Por ello, los suelos con una alta CE debido al exceso de iones de sodio y magnesio (o cloruro) pueden ser perjudiciales para las plantas, y también aumentar la biodisponibilidad de cadmio. Los niveles de CE permitidos para el cultivo de cacao son de 2.0 dS/m, pasado estos niveles la presencia de cadmio en el cultivo es elevada (Motato et al., 2015).

#### **4.9 Sombra.**

La sombra permite que los árboles de cacao se combinen con otras especies utilizadas como sobra para formar sistemas agroforestales ya que es una planta umbrófila. Cuando el cacao es joven (2-3 años), necesita más sombra, y en la edad adulta o en la fase de producción esta necesidad disminuye.

Al cultivar especies de sombra, los árboles de cacao no están expuestos a la luz solar directa. Los sistemas agroforestales permiten incrementar la fertilidad del suelo, mejora su estructura y disminuye los procesos de erosión, convirtiéndose para el productor como herramienta indispensable para el mejoramiento de la producción, su economía familiar y su calidad de vida (Villagaray & Inga, 2011).

##### **4.9.1 Efecto de la sombra en el crecimiento del cultivo de cacao.**

Se ha demostrado que la eliminación de la sombra tiene un impacto negativo en el almacenamiento de nutrientes a lo largo del tiempo, similar a otras regiones del mundo donde afecta el rendimiento del cacao (Nelson, 2011).

Al plantar árboles que proporcionen sombra, el árbol de cacao se mantendrá alejado de la luz solar directa. Además, estas especies brindan beneficios como la fijación de nitrógeno atmosférico durante el uso de las leguminosas, el aporte de biomasa de materia orgánica al suelo, la regulación de las condiciones climáticas (temperatura, viento y humedad relativa) durante el cultivo. Asimismo, generan ingresos económicos a través de la comercialización de frutos comestibles, raíces, materiales de propagación vegetativa, leña, etc (Dubón, 2016).

#### **4.9.2 Tipos de sombra.**

**Sombra temporal:** Sirve para proporcionar sombra temporal durante los primeros 2-3 años, se deben utilizar especies de rápido crecimiento con buena protección o cubierta de dosel. Este brinda sombra a los árboles de cacao jóvenes en los primeros años después de la siembra. Se establece alrededor de 6 a 7 meses antes que el cacao, para brindar una sombra rápida e incluso generar ingresos para los productores mientras el cacao ingresa a la etapa de producción (Dubón, 2016).

**Sombra intermedia:** A este tipo de sombra se le denomina sombrío de transición o sombra puente, ya que es puesta después de la sombra temporal, que se elimina al segundo y tercer año, está conformada por especies maderables de alto valor. Esta al igual que la temporal será suprimida gradualmente en la medida que esta sobrepase el estrato superior ocupado por el cacao y comiencen a proyectar sombra no adecuada al cultivo. Normalmente la sombra intermedia desaparece del sistema agroforestal a los 8-10 años (Dubón, 2016)

**Sombra permanente:** Es la que brindará sombra toda la vida de la plantación y es proporcionada por las especies maderables y/o frutales que se siembran en asocio con el cacao (Beer, 2014). En los sistemas agroforestales la sombra permanente debe estar conformados principalmente por especies forestales de madera fina y de alto valor (Dubón, 2016).

#### **4.9.3 Determinación de niveles de sombra.**

Para la determinación del nivel óptimo de sombra, se define en función de las condiciones y características de las plantas de cacao que es: edad, espaciamiento, manejo de podas y fenología,

al igual de las condiciones del lugar como: pendiente, exposición, latitud y fertilidad del suelo. La escala de calificación consta de cuatro niveles: a) sin sombra, b) poca sombra, c) sombra media y d) mucha sombra.

Los efectos y beneficios de la sombra al iniciar la plantación reducen la exposición a la luz solar y al movimiento del aire, lo que creara un microclima que si no es llevado de buena manera puede perjudicar a las plantas de cacao. El cacao requiere de una sombra adecuada para evitar daños y lograr un buen desarrollo inicial. La sombra puede ser de tipo temporal durante los primeros años de la plantación temporal o permanente (IICA, 2017).

#### **4.10 Fertilización.**

Es un recurso muy valioso en la producción agrícola y su uso solo trae beneficios económicos si se tiene en cuenta distintas acciones agronómicas como: regular la sombra, mantener el drenaje, reemplazar cultivos competencia y principalmente prevenir enfermedades y plagas. En plantaciones manejadas tradicionalmente con rendimientos por debajo de los 500 kg de cacao seco por hectárea, la aplicación correcta de fertilizantes tiende a subir su producción y rendimiento al igual que la calidad del fruto. El gasto en fertilizantes debe cumplir con la asignación planificada teniendo en cuenta otros costos de mantenimiento basados en los ingresos esperados y los costos que llevamos a cabo para la adquisición y colocación de los fertilizantes (Saldaña, 2016).

#### **4.11 Fertilización orgánica del cacao.**

La materia orgánica en el suelo es de gran relevancia, debido a su influencia directa en sus propiedades físicas y químicas, además ayuda a la flora microbiana de este; la materia orgánica forma agregados en el suelo uniendo arcillas para mejorar su estabilidad, que es en donde se originan los horizontes del suelo, estas arcillas al unirse favorecen la infiltración del agua y retención, estas condiciones ayudan a que el suelo se pierda por erosión (Alvarado, 2016).

En las propiedades químicas, la materia orgánica ayuda a aumentar la capacidad de reserva de elementos nutritivos del suelo, al igual que su disponibilidad, intercambio y ayuda a mantener un pH óptimo, que le permita a la planta una mejor asimilación o disponibilidad de elementos (fosfatos, azufre y nitrógeno), propiciando un crecimiento ecológico equilibrado. En estudios

realizados se ha observado que el comportamiento del cacao joven ha demostrado un desarrollo mejor en plantaciones completamente nuevas, a diferencia que cuando se planta en terrenos de cacao ya existentes, pero con una adecuada nutrición esta especie mejora su rendimiento y producción es decir pasa a convertirse en un factor muy importante para su desarrollo (Wessel, 1985).

#### **4.12 Nutrición mineral del cacao.**

La planta en los primeros 5 años necesita de gran disponibilidad de elementos para su desarrollo, luego esta tiende a establecerse manteniendo una tasa regular de absorción el resto de su vida. En general los elementos más demandados por las plantaciones de cacao son: el potasio (K), nitrógeno (N), calcio (Ca) y magnesio (Mg). En promedio 1,200 Kg. de semilla de cacao extraen 35 Kg. de N, 10 kg  $P_2O_5$ , 50 Kg. de  $K_2O$ , 13 Kg. de CaO y 150 Kg. de MgO. Además, también se remueven micronutrientes que ayudan a construir el cuerpo del árbol. Es por ello que para diseñar un plan de nutrición mineral se deben de considerar una serie de factores como el estado actual de la plantación, las condiciones del suelo, el clima etc. Que brindaran al cultivo un mejor rendimiento (Zavala,2016).

##### **4.12.1 Nitrógeno.**

Una cantidad adecuada de nitrógeno está estrechamente ligada con vigorosos crecimientos vegetativos y un intenso color verde. Cuando el nitrógeno está presente en cantidades adecuadas y condiciones favorables se forma más protoplasma y a causa que el protoplasma está altamente hidratado las plantas resultan más suculentas (Tislade, 1987).

El nitrógeno ayuda a la multiplicación celular y estimula el crecimiento, debido a que es un componente esencial de los aminoácidos y proteínas, además forma parte de los compuestos que ayudan a las plantas en la formación de la clorofila y otros componentes que se encuentran en la membrana celular (Huachos, 2015).

##### **4.12.2 Fósforo.**

El fósforo es un importante nutriente de las plantas, debido a que forma parte de compuestos fundamentales para la fisiología, como desarrollo de la raíz, absorción de nitrógeno,

aumento de bacterias nitrificantes, metabolismo energético al igual que la floración y fructificación. En la fotosíntesis cumple con el papel de fijación de energía luminosa en energía químicas. En el suelo, el fósforo puede presentarse en forma orgánica o inorgánica (Montes, 2016).

Según Múnera, (2014) El P es un componente vital de las sustancias que forman los genes y cromosomas; es decir forma parte de los distintos procesos que transfieren el código genético de generación en generación, garantizando el mapa genético para todos los aspectos de crecimiento y reproducción de la planta.

#### **4.12.3 Potasio.**

El potasio aumenta el peso de los granos y frutos, incrementando su azúcar y conservación, estimula a la formación de flores y frutos, ayuda a la disponibilidad del nitrógeno a la planta, así como resistencia a las heladas debido a que aumenta la concentración salina de las células. (García, 2009).

Su deficiencia produce en la planta bajos rendimientos, decrecimiento de la fotosíntesis al igual que la formación de carbohidratos y por consiguiente el crecimiento de las plantas (Bieto, 2008).

#### **4.13 Interacción sombra y nutrición.**

Las interacciones sombra-nutrición han sido poco estudiadas, sin embargo, se dice que, bajo sombra, el rendimiento del cacao responde menos a los fertilizantes, pero la pérdida de rendimiento también es menos severa. Desafortunadamente, las relaciones entre la nutrición bajo sombra y sus efectos sobre el rendimiento del cacao son poco conocidas (Van Vliet & Giller, 2015).

El cacao sin sombra es decir expuesto directamente al sol, bajo condiciones adecuadas como disposición de agua y nutrientes, protegido del viento, produce un mejor rendimiento que una plantación bajo sombra. Esto se debe al aumento de la tasa fotosintética, pero en estas condiciones el cultivo requiere mayor cantidad de fertilizante, aumentando los costos de producción y si no se lleva a cabo un buen plan de manejo de fertilización puede llegar a generar

grandes pérdidas en el cultivo; por tanto, se debe lograr un aporte acorde a sus necesidades (Costa et al., 2001).

Una fertilización deficiente es una gran limitante en la producción de cacao. En Trinidad, Uribe et al. (1998) demostró la importancia de la aplicación de NPK en cultivo de cacao a plena exposición solar; con esto se evita la fotoinhibición que produce el sombrero. En Brasil, Cabala-Rosand et al. (1969) mediante su investigación encontraron que el efecto de la fertilización es reducido en plantaciones bajo sombra, debido a una menor tasa fotosintética; otras investigaciones han demostrado que las plantas de cacao tienden a tener baja tolerancia a las altas radiaciones, en donde sugiere la necesidad de estar bajo sombra en etapas tempranas de crecimiento (Zuidema et al., 2005).

Lo que queda claro en todas las investigaciones realizadas la sombra influye directamente en la respuesta de fertilización. En términos generales, la disposición de fertilizantes en cultivos sin sombras tiene un impacto más fuerte en el crecimiento y rendimiento. Sin embargo, este efecto depende del grado de sombra, que no siempre se cuantifica (Jiska et al., 2015)



## **5.2 Métodos.**

Este trabajo de investigación se empleó el método inductivo- deductivo, ya que se partió a través de la observación y medición de variables de campo, en donde se pudo distinguir la particularidad de reacción del cacao EETP 800 en diferentes niveles de sombra y nutrición, lo que permitió obtener las conclusiones generales. Y así se pudo explicar la manera en la que influye la sombra en el cacao a nivel morfológico y fisiológico.

### **5.2.1 Tipo de investigación.**

La investigación empleada fue de tipo experimental y correlacional. Debido a que el ensayo se llevó a cabo en campo y se evaluó la influencia de la variación de radiación solar y fertilización sobre crecimiento vegetal y parámetros fisiológicos, fue correlacional porque se estudiaron las múltiples variables que influyen en el desarrollo vegetativo del clon EETP 800.

## **5.3 Diseño experimental y análisis estadístico.**

El ensayo realizado fue una continuación de un cultivo ya establecido que inicio el 17 de octubre del 2019, hasta la presente fecha, cuya plantación tiene una edad de 2 años y 9 meses con un marco de plantación comercial (3,50 m x 4m). El experimento constó de dos etapas: aplicación de tratamientos y registro de variables fisiológicas y morfológicas. Se empleo un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo bifactorial, y se encuentra estructurado de la siguiente manera:

**Unidad experimental:** 1 planta de cacao

**Factores:** 2 (sombra y nutrición)

**Número de tratamientos:** 4

**Número de repeticiones:** 3

**Número de unidades experimentales:** 12

### 5.3.1 Esquema del diseño en campo

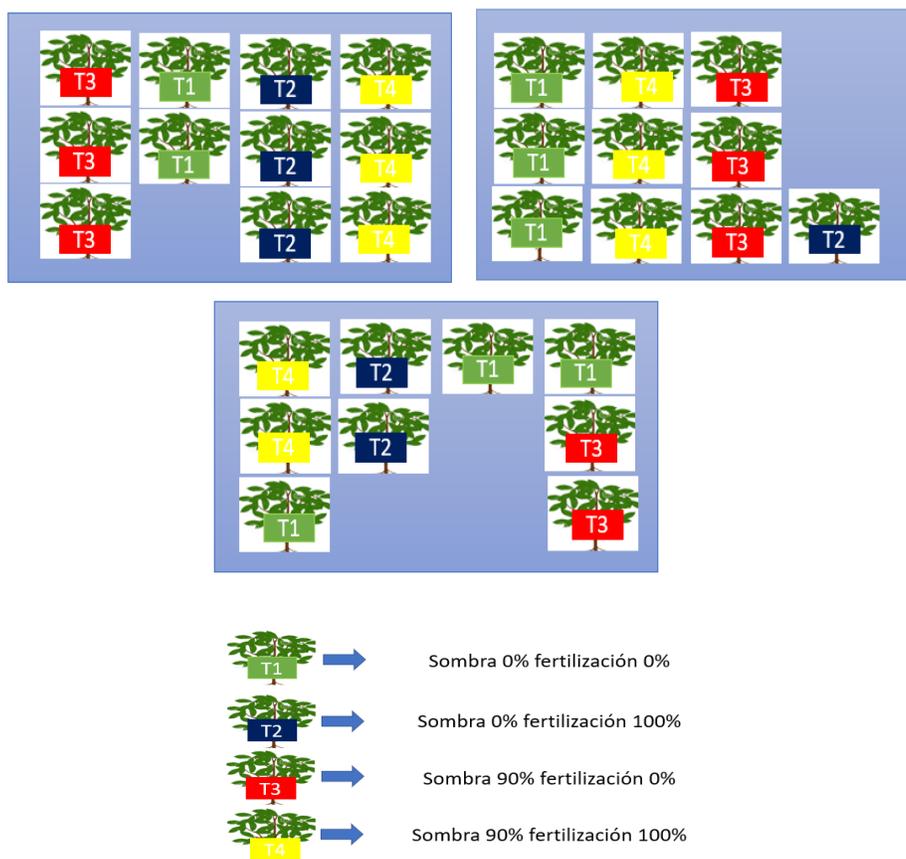


Figura 4. Esquema del diseño experimental en campo

### 5.3.2 Modelo estadístico.

$Y_{ij}$  Variable de respuesta

$\mu$ : Media global de la variable respuesta

$\alpha$ : Efecto del factor sombra

$\beta$ : Efecto del factor fertilización

$(\alpha\beta)$ : Efectos producidos por la interacción entre el factor sombra y el factor fertilización

$\varepsilon_{ij}$  Error experimental

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

## 5.4 Metodología general.

### 5.4.1 Establecimiento y manejo del ensayo

Se trabajó en una plantación de cacao clon EETP 800 de 2 años y 9 meses, cuyas plantas fueron adquiridas en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP, garantizando el origen y las características de las plantas. El ensayo estuvo constituido con las densidades comerciales recomendadas (3.50m x 4m), bajo luz directa y dos niveles de sombra artificial, con la ayuda de un sarán o poli sombra, con intensidades diferentes a 0%, 80% de sombra de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) incidente en la zona. La malla Sarán, en los cultivos bajo sombra, se encuentra instalada a 3,0 metros de altura desde el suelo.

A la vez, en el cultivo se aplicaron dos niveles distintos de fertilización, determinados después de un análisis previo de suelo y verificando los requerimientos nutricionales del cacao y realizando la corrección de los nutrientes en déficit. Presentados en la siguiente tabla:

**Tabla 7.** Fertilización aplicada a los tratamientos del ensayo.

| <b>FERTILIZANTE</b>            | Total Kg | Total gr | gr/plant<br>a |
|--------------------------------|----------|----------|---------------|
| <b>Ácido bórico</b>            | 0,7      | 700      | 14            |
| <b>Nitrato de calcio</b>       | 9,5      | 9500     | 126           |
| <b>DAP (18-46-00)</b>          | 1        | 1000     | 12            |
| <b>Muriato de potasio</b>      | 9,5      | 9500     | 125           |
| <b>Nitrato de amonio</b>       | 6,5      | 6500     | 86            |
| <b>Sulfato de<br/>magnesio</b> | 7,6      | 7600     | 104           |

Con un diseño completamente aleatorizado; todas las plantas fueron tratadas con el mismo manejo agronómico; prácticas culturales y manejo de plagas y enfermedades acorde a las necesidades del cultivo, con el fin de controlar al máximo el error experimental. En este estudio se plantearon varias repeticiones, ya que entre mayor sea el número de repeticiones, mejor será

el resultado obtenido.

## **5.5 Metodología por objetivo.**

### **5.5.1 Metodología para el primer objetivo:**

*“Determinar la influencia de dos niveles de radiación solar y fertilización, sobre variables morfológicas, durante el crecimiento temprano del cultivo de cacao”.*

Para el cumplimiento del primer objetivo se evaluaron distintas variables mencionadas a continuación para posterior realizar análisis estadísticos.

### **5.5.2 Altura de la planta.**

Este indicador se midió cada 20 días con un flexómetro desde el cuello o base de la planta hasta el ápice, el dato obtenido se expresó en centímetros (cm).

### **5.5.3 Diámetro del tallo.**

Para esta medición se utilizó una cinta métrica, este dato fue tomado cada 20 días a una altura de 5 cm sobre el suelo, este dato será expresado en cm.

### **5.5.4 Área de sección transversal del tronco ASTT.**

Se midió el perímetro del tronco a 5 cm desde el suelo con una cinta métrica, esto permitió calcular el área. Esta medición se realizó dos veces durante todo el ensayo, la primera al inicio y la segunda al final del mismo, y se expresó en cm<sup>2</sup>.

### **5.5.5 Longitud de brote.**

Se seleccionaron y etiquetaron dos brotes por planta posicionados en el tercio medio de la altura de la planta para medir su crecimiento longitudinal en centímetros con una cinta. Esta medición se realizó cada 20 días.

### **5.5.6 Tasa de crecimiento absoluta (TCA).**

A los brotes seleccionados para medir su longitud se les determinó la TCA para observar

el incremento de longitud del órgano por unidad de tiempo mediante la siguiente fórmula:

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

Donde:  $\Delta L$  = longitud final - longitud inicial y  $\Delta t$  = tiempo final - tiempo inicial.

#### **5.5.7 Tasa de crecimiento relativa (TCR).**

Sobre los brotes marcados para longitud se determinó TCR que corresponde al incremento de longitud por unidad de tamaño y por unidad de tiempo, para ello se usó la siguiente fórmula:

$$TCR = 1 / Li \times \Delta L / \Delta t,$$

Donde:  $Li$  = longitud inicial,  $\Delta L$  = longitud final - longitud inicial y  $\Delta t$  = tiempo final - tiempo inicial.

#### **5.5.8 Área foliar e Índice de área foliar.**

Para el área foliar se tomaron en cuenta las ecuaciones ajustadas del área foliar tanto de largo y ancho de las hojas del clon de cacao CCN-51, realizadas por Espinoza y Montaña (2021) en el periodo agosto – diciembre, en estudios de interacción sombra/nutrición, del mismo macroproyecto de la Universidad Nacional de Loja. Con base en ello, se consideró el ancho de todas las hojas de cada planta de cacao. Y se empleó la siguiente ecuación:

$$AF = 2,5115X^{1,9225}$$

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

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

Estas variables fueron medidas de todas las UE al final de la fase de campo.

#### **5.5.9 Diámetro de copa.**

Para el diámetro de copa se realizó dos mediciones en cruz, siendo el valor promedio, de

ambas el que se considera como diámetro de copa, cuya fórmula utilizada fue:

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

**Fuente:** (Meza, 2018).

## 5.6 Metodología para el segundo objetivo

*“Determinar la influencia de dos niveles de radiación solar y fertilización, sobre variables fisiológicas, en etapas tempranas del cultivo de cacao”.*

Las dosis de fertilizante se determinaron considerando la oferta del suelo (mediante un análisis de suelo) y la demanda del cultivo correspondiente a su edad.

Con estudios previos de Montañó (2021) y Espinosa (2021), se llevó a cabo dos niveles de fertilización, se consideró N, P, K, Ca y Mg para la aplicación de los tratamientos. Se evaluaron dos niveles de fertilización, que fueron plantas fertilizadas al 100% y no fertilizadas al 0% (Tabla 9), la aplicación del fertilizante se realizó haciendo surco en forma de corona y depositando los fertilizantes a una profundidad de 5 cm en el suelo, la aplicación se realizó cada 20 días de manera fraccionada en 5 aplicaciones como se indica en la tabla 8.

**Tabla 8.** Descripción de los tratamientos descritos en el ensayo.

| Número del tratamiento | Nombre del tratamiento  | Sombra% | Fertilización % |
|------------------------|-------------------------|---------|-----------------|
| 1                      | Testigo                 | 0       | 0               |
| 2                      | Fertilizado             | 0       | 100             |
| 3                      | Sombreado               | 80      | 0               |
| 4                      | Sombreado y fertilizado | 80      | 100             |

### 5.6.1 Concentración de clorofila.

Se midió la concentración de clorofila A (Ca), B (Cb) y la clorofila total (C total), mediante espectrometría utilizando el protocolo de un estudio previo de Rodes y Collazo (2006).

Para ello se tomaron 12 muestras que corresponden a tres hojas de tres repeticiones de los distintos tratamientos, estas hojas fueron obtenidas del tercio medio de la planta, para su transporte se lo realizó a través de la ayuda de una incubadora, servilletas y geles para evitar posibles daños mecánicos en las muestras, el proceso que se realizó fue un lavado, secado y se cortó en secciones.

Para la extracción de pigmentos se pesó 0,5 g de hoja, luego se introdujo la muestra en un tubo de ensayo con 6 ml de etanol al 90 % de modo que los segmentos quedaron sumergidos en el solvente orgánico, posterior a ello se llevaron a la incubadora por 20 minutos a baño maría a 80 °C para que los pigmentos fotosintéticos (clorofila) salgan y se disuelvan en el solvente, al culminar este tiempo los segmentos quedaron totalmente decolorados y el solvente de color verde. Los tubos de ensayo se envolvieron en papel aluminio para evitar la penetración de los rayos solares, y finalmente se sacaron los restos de las muestras de los tubos, se filtraron y centrifugaron y se llevaron al espectrómetro para realizar las lecturas.

Según Mackinney (1941), las ondas para medir la cantidad de absorbancia es 645 y 663 nm, de igual manera se hará uso de las fórmulas siguientes:

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

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

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

Se medirán la concentración de clorofila A, B y la clorofila total, se medirá una vez al final del ensayo.

### 5.6.2 Densidad estomática

Se realizó una impronta, la cual consistió en utilizar una fina capa de esmalte transparente en el tercio medio de la hoja en donde se tomaron dos muestras de cada hoja, una vez puesta esta capa se dejó secar y con la ayuda de un pincel se procedió a extraer la capa fina de esmalte y se montó en un portaobjetos y fueron colocadas en el microscopio OLYMPUS BX41 con un aumento de 10X y mediante el uso del programa Anfinity Analyze 5.0 se procedió a fotografiar marcando tres cuadros de 1 000  $\mu\text{m}$  cada uno, siendo esa área de conteo, expresándose el dato en número de estomas por  $\text{mm}^2$  (Barrientos 2003).

### 5.6.3 Índice estomático

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

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

Donde:

I.E= Índice estomático

Es=Número de estomas

Ep=Número de células epidérmicas

### 5.6.4 Determinación de pH del suelo y conductividad eléctrica.

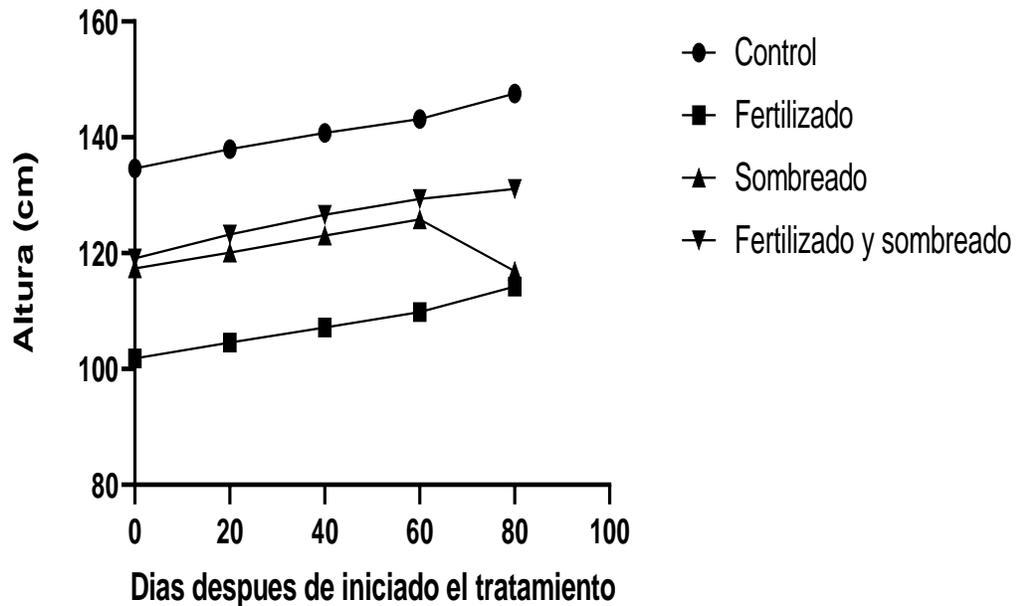
Para esta variable se procedió a tomar muestras de suelo, del total de plantas del cultivo se seleccionaron 16 repeticiones al azar, las muestras fueron cogidas del lugar más cercano posible de la planta en donde se remueve un poco de suelo superficial y con ayuda de una trasplantadora se procede a tomar la muestra, para posteriormente tamizar colocar en una funda y etiquetar para ser llevadas al laboratorio de suelo de la Universidad Nacional de Loja.

## 6. RESULTADOS.

### 6.1 Variables morfológicas.

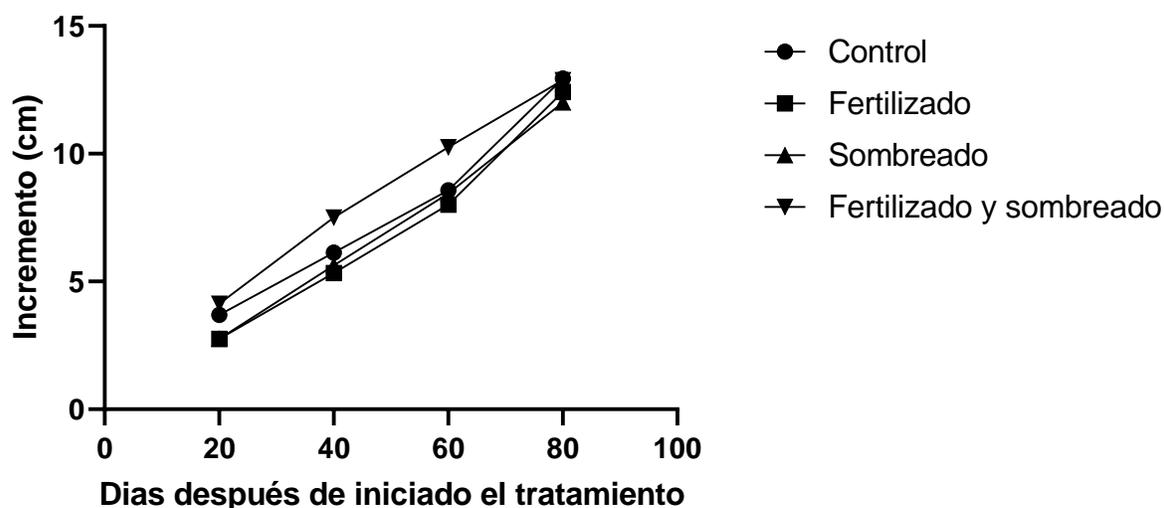
#### 6.1.1 Altura de planta.

La altura de las plantas del clon EETP 800; en las mediciones realizadas, se observó un crecimiento constante, en donde las plantas del tratamiento control (T1) obtuvieron un mayor promedio, seguida del tratamiento de fertilización 0% y sombra 80% (T3), el promedio más bajo correspondió al tratamiento de fertilización 100% y sombra 0% (T2), tanto el factor sombra como la fertilización no presentaron efectos significativos ( $p>0,05$ ) sobre la variable altura (Figura 5).



**Figura 5.** Crecimiento de plantas de cacao clon EETP-800 desde los 0 a 80 días de la aplicación de tratamientos.

En el incremento de altura se pudo observar que las plantas con el tratamiento sombreado fueron las que alcanzaron una mayor media a diferencia del tratamiento solo fertilizado, que fue la que presentó medias más bajas (Figura 6).



**Figura 6.** Incremento de altura del clon EETP-800 a los 80 DDAT: días después de la aplicación de los tratamientos.

En los valores promedio del incremento de altura, del clon EETP-800, al realizar las mediciones desde el inicio del ensayo (0 DDT) hasta la altura final (80 DDT), mostró que las plantas con la interacción sombra y fertilización (T4) presentan una altura ligeramente mayor respecto de los demás tratamientos y el factor sombra fue el más bajo.

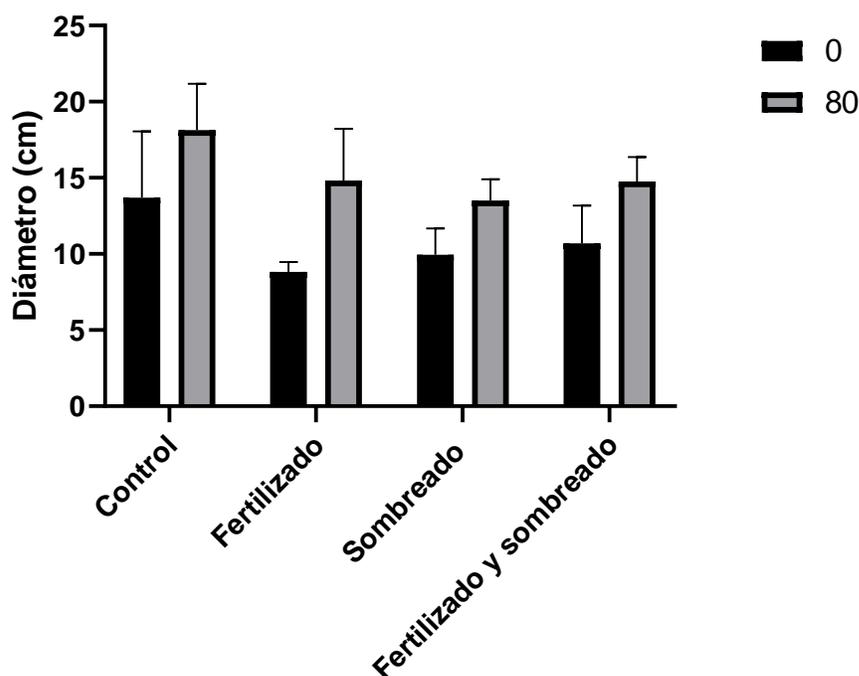
**Tabla 9.** Crecimiento en altura (cm) de cacao Clon EETP-800 bajo cuatro tratamientos.

| Tratamientos                | Días después de iniciado el tratamiento |       |       |       |       |
|-----------------------------|---|-------|-------|-------|-------|
|                             | 0                                       | 20    | 40    | 60    | 80    |
| <b>Control</b>              | 134,6                                   | 137,9 | 140,7 | 143,1 | 147,5 |
| <b>Sombra</b>               | 101,8                                   | 104,5 | 107,1 | 109,8 | 114,2 |
| <b>Fertilización</b>        | 117,3                                   | 120,1 | 123,0 | 125,8 | 116,8 |
| <b>Sombra*Fertilización</b> | 119,1                                   | 123,2 | 126,6 | 129,3 | 132,0 |
| <b>E.E</b>                  | 14,5                                    | 14,6  | 14,6  | 14,6  | 16,9  |
| <b>Sombra</b>               | n.s                                     | n.s   | n.s   | n.s   | n.s   |
| <b>Fertilización</b>        | n.s                                     | n.s   | n.s   | n.s   | n.s   |
| <b>Sombra*Fertilización</b> | n.s                                     | n.s   | n.s   | n.s   | n.s   |

**n.s:** diferencias no significativas entre las medias, durante 80 días.

### 6.1.2 Diámetro del tallo.

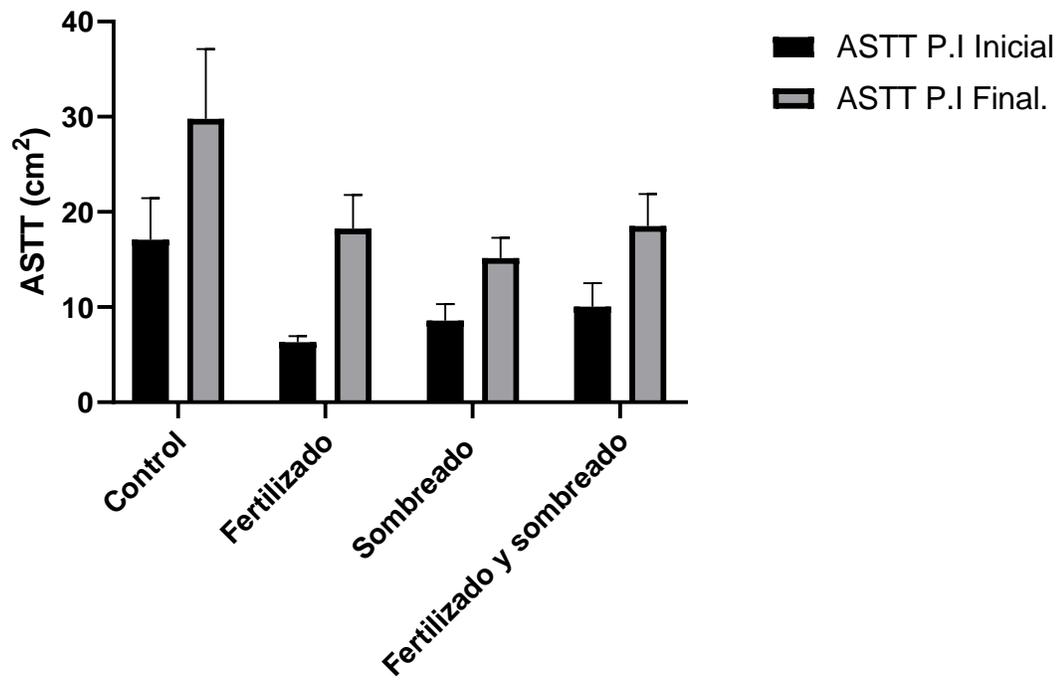
Durante el periodo de evaluación que fue desde los 0 a los 80 días, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ( $P > 0,05$ ). Sin embargo, se observa que el testigo (T1) obtuvo un mayor diámetro con una media de 12,88 y 17,42 cm, a los 0 y 80 días respectivamente, mientras que las plantas sometidas a 100% fertilización y 0% de sombra (T2) obtuvieron el menor diámetro con una media de 7,62 y 13,61 respectivamente.



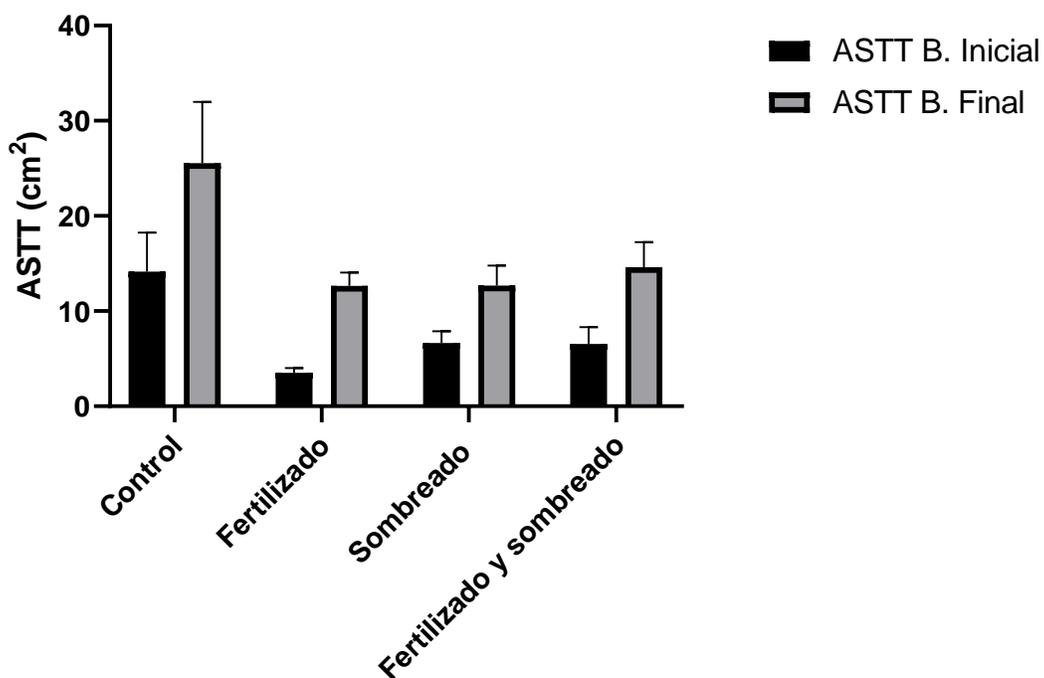
**Figura 7.** Crecimiento del diámetro del portainjerto desde el inicio (0 días) del ensayo hasta el final (80 días), Barras verticales representan el error estándar.

### 6.1.3 Área de la sección Transversal del tronco (ASTT).

En relación al ASTT no se presentaron diferencias significativas a lo largo del ensayo entre los tratamientos ( $p > 0,05$ ). En la medición inicial se presentó un p-valor = 0,1612 para Porta Injerto (P.I.) y p-valor = 0,1881 para la Baretta (B.), y en la medición final se obtuvo que el P.I. arrojó un p-valor= 0,2023 y para la B. un p-valor=0,2411. Según la morfología propia de la planta, el ASTT P.I. (Figura 8) fue mayor al ASTT B (Figura 9).

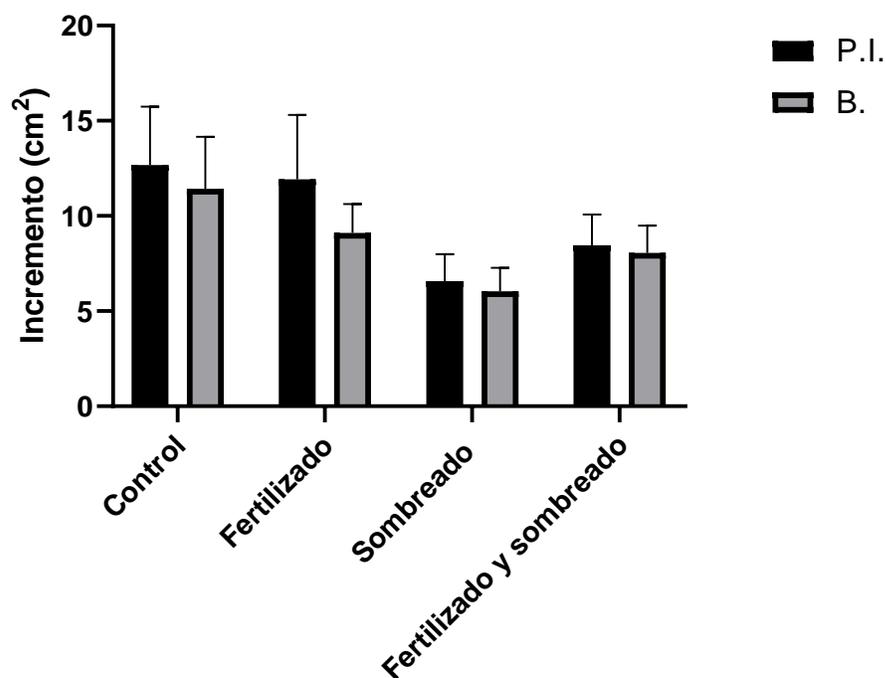


**Figura 8.** Área de sección transversal del tronco del portainjerto (ASTT PI) del clon EETP-800 bajo cuatro tratamientos; Barras verticales representan el error estándar.



**Figura 9.** Área de sección transversal del tronco de la bareta (ASTT B) del clon EETP-800 bajo cuatro tratamientos; Barras verticales representan el erro estándar.

De igual manera, el incremento de ASTT tanto para PI como de la B no mostraron diferencias significativas entre los tres factores evaluados en el ensayo ( $p = 0,2445$  incremento P.I. y  $p = 0,4726$  incremento B;  $p > 0,05$ ) (Figura 10), y tuvieron la misma tendencia observada en el incremento de altura.



**Figura 10.** Incremento en el ASTT del portainjerto y bareta del clon EETP-800 bajo 4 diferentes tratamientos. N.S. Barras verticales representan el error estándar.

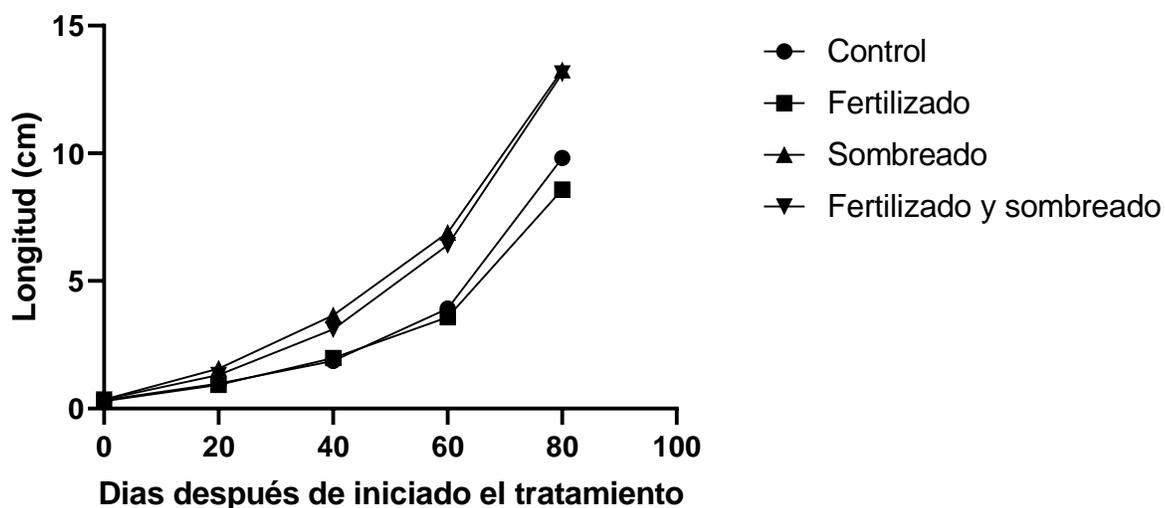
#### 6.1.4 Longitud del brote y tasas de crecimiento, absoluta (TCA) y relativa (TCR).

De acuerdo a los resultados obtenidos, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, en lo que respecta a longitud de los brotes en cada unidad experimental evaluada a partir de los 20 días. Los tratamientos que mostraron medias más altas fueron los tratamientos con fertilización 0% y sombra 80% (T3), seguido por el tratamiento de fertilización 100% y sombra 80% (T4). Las plantas sometidas a estos tratamientos, presentaron brotes que tuvieron un crecimiento similar desde los 0 a los 80 días de evaluación, llegando a alcanzar una longitud al final de 14,5 cm y 13,5 cm, respectivamente.

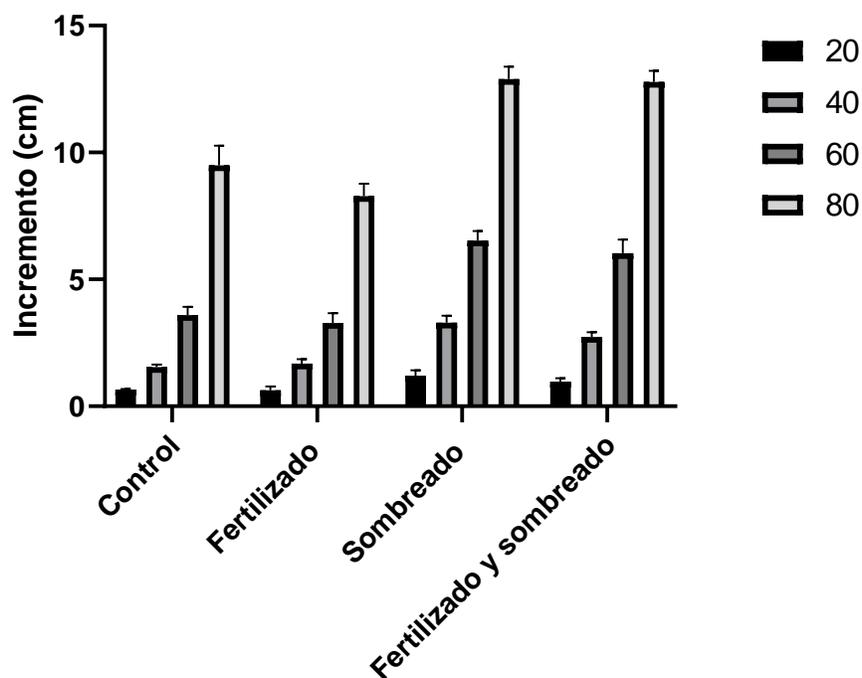
**Tabla 10.** Longitud de brote (cm) de cacao clon EETP-800, bajo cuatro tratamientos.

| TRATAMIENTOS          | DÍAS DESPUÉS DEL TRATAMIENTO (DDT) |         |        |        |         |
|-----------------------|------------------------------------|---------|--------|--------|---------|
|                       | 0                                  | 20      | 40     | 60     | 80      |
| Control               | 0,33                               | 0,98 b  | 1,86 b | 3,91 b | 9,81 b  |
| Fertilizado           | 0,30                               | 0,93 b  | 1,98 b | 3,58 b | 8,58 b  |
| Sombreado             | 0,36                               | 1,58 a  | 3,65 a | 6,89 a | 13,25 a |
| Sombreado*Fertilizado | 0,36                               | 1,33 ab | 3,10 a | 6,40 a | 13,14 a |
| E.E                   | 0,04                               | 0,13    | 0,19   | 0,41   | 0,58    |
| Sombra                | n.s                                | *       | **     | **     | **      |
| Fertilización         | n.s                                | n.s     | n.s    | n.s    | n.s     |
| Sombra*Fertilización  | n.s                                | n.s     | n.s    | n.s    | n.s     |

\* representa ( $p < 0,05$ ), \*\* representa ( $p < 0,01$ ), n.s: diferencias no significativas entre las medias



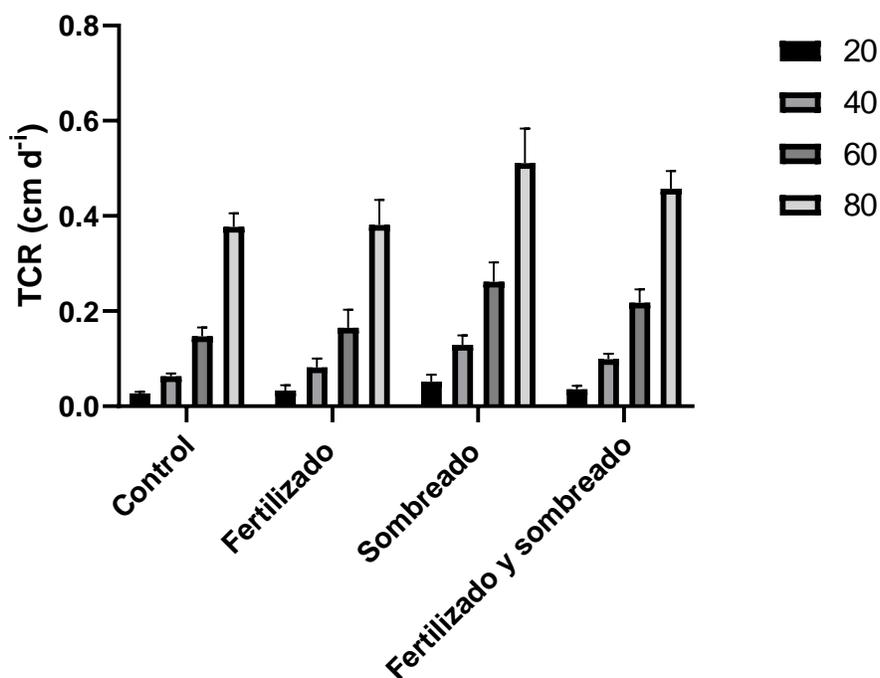
**Figura 11.** Dinámica de crecimiento del brote del clon EETP-800 sometido bajo cuatro tratamientos.



**Figura 12.** Incremento de la longitud de brote del clon EETP-800 bajo cuatro tratamientos a partir de los 20 días después de iniciado el tratamiento, hasta el final (80 días).

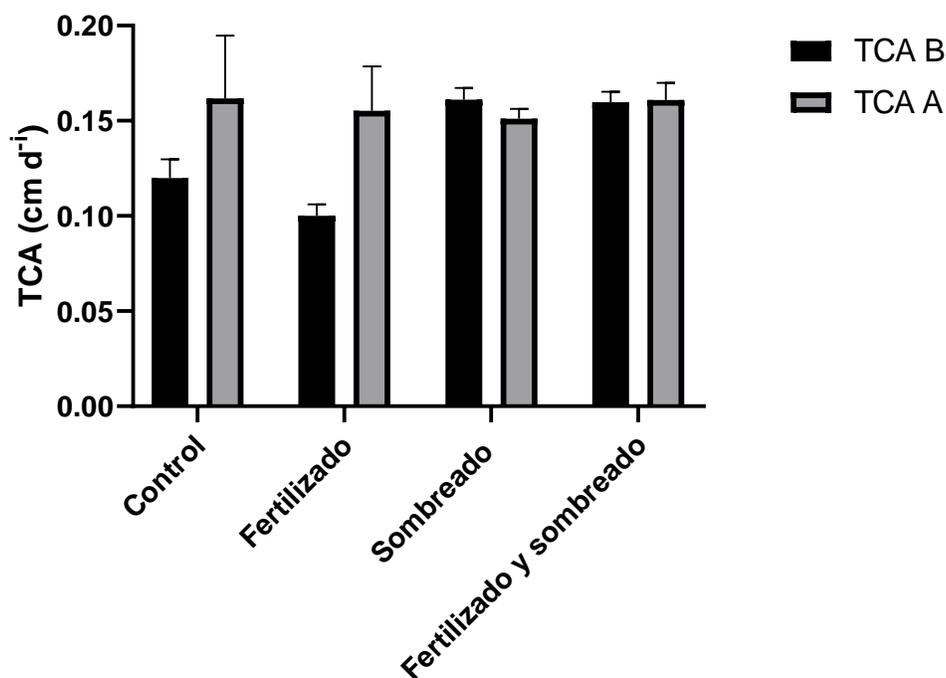
Se puede observar que el incremento en la longitud del brote fue mayor en el tratamiento de fertilización 0% y sombra 80% (T3), seguido de la interacción fertilización 100% y sombra 80% (Figura 12), lo que estuvo relacionado a un ligero aumento en la longitud final de los brotes (Tabla 11).

En la TCR de los brotes de cada unidad experimental de cacao clon EETP 800, evaluada desde los 20 hasta los 80 días después de la emisión del brote (Figura 9), no presenta diferencias estadísticamente significativas en los factores evaluados que son: fertilización, sombra e interacción, ( $p$ -valor = 0,36;  $p$ -valor > 0,05). Teniendo valores entre 0,087 y 0,045 cm (cm día<sup>-1</sup>) a los 20 días, entre 0,052 y 0,027 cm (cm día<sup>-1</sup>) a los 40 días, y 0,12 y 0,063 cm (cm día<sup>-1</sup>) a los 60 días 0,2 Y 0,14 y a los 80 días 0,5 y 0,3 (Figura 14).



**Figura 13.** Tasa de crecimiento relativa (TCR) de longitud de brote del clon EETP-800 bajo cuatro tratamientos.

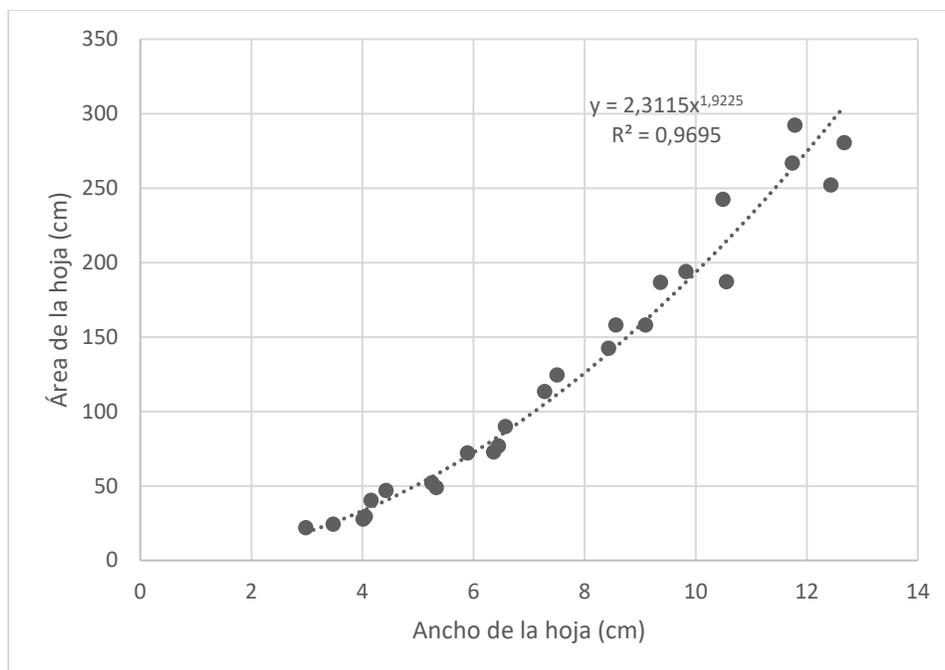
Asimismo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas en los factores de sombra, fertilización y la interacción ( $P > 0,05$ ) en las TCA, se observó que a los 20 días la mayor TCA la obtuvo el tratamiento con Fertilización 0% y sombra 80% (T3) y el tratamiento de Fertilización 100% y sombra 80% (T4) ambos con  $0,14 \text{ cm día}^{-1}$  y el tratamiento que obtuvo un menor TCA fue el tratamiento Fertilización 100% y sombra 0% (T2) con  $0,10 \text{ cm día}^{-1}$  (Figura 12).



**Figura 14.** Tasa de crecimiento absoluta en brotes de cacao clon EETP-800, TCA B: Tasa de crecimiento absoluta del brote, TCA A: Tasa de crecimiento absoluta de altura, Barras verticales representan el error estándar.

### 6.1.5 Área foliar (AF) e Índice de área foliar.

Para calcular el área foliar del brote, se utilizó una medida alométrica basada en un análisis de regresión con los datos de largo y ancho, donde se probaron diferentes modelos de regresión. El mejor ajuste se obtuvo con el modelo potencial para el ancho de la hoja, es decir, el área foliar depende principalmente del ancho de la hoja. En la Figura 10, se muestra la ecuación y la curva de regresión. La ecuación que se derivó del análisis alométrico es  $2,3115x1,9225$  con un  $R^2 = 0,9695$ .



**Figura 15.** Gráfico de puntos del área foliar versus ancho de la hoja determinado a partir de hojas de cacao clon EETP-800.

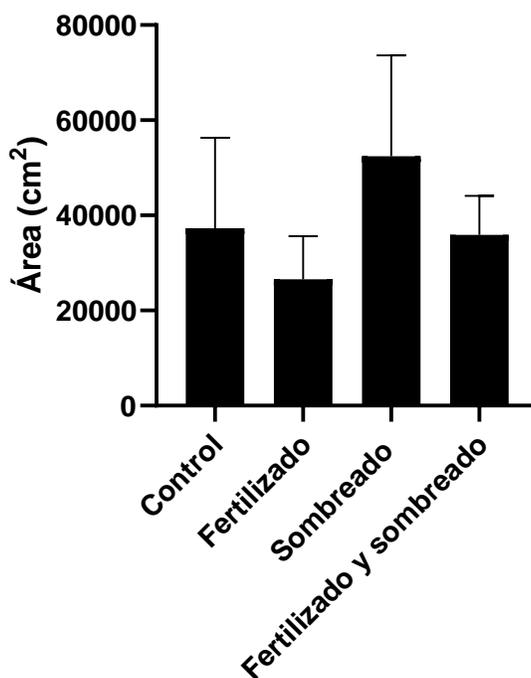
#### 6.1.5.1 Área foliar.

En las mediciones realizadas no hubo diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ( $p = 0,60$ ;  $p > 0,05$ ) (Figura 16), no obstante, se puede mencionar que el ancho de las hojas de los tratamientos fertilización 0% y sombra 80% (T3) y fertilización 100% y sombra 80% (T4) fueron mayores en el ensayo, a diferencia del tratamiento Fertilización 100 y sombra 0% (T2) fue el que tuvo una menor media; en el contenido de numero de hojas el T3 y el T1 presentaron más hojas y por ende una mejor área foliar, a diferencia del tratamiento T2 que fue el que presento un menor contenido de hojas (Tabla 12).

**Tabla 12.** Ancho y número de hojas, área foliar e índice de área foliar del clon EETP -800 sometido a cuatro tratamientos.

| TRATAMIENTOS          | AF       | IAF    |
|-----------------------|----------|--------|
| Control               | 37332,42 | 0,2670 |
| Fertilizado           | 1386,06  | 0,0091 |
| Sombreado             | 52401,80 | 0,3750 |
| Sombreado*Fertilizado | 35887,92 | 0,2575 |
| E.E.                  | 15492,06 | 0,11   |
| Fertilización         | n.s      | n.s    |
| Sombra                | n.s      | n.s    |
| Sombra*Fertilización  | n.s      | n.s    |

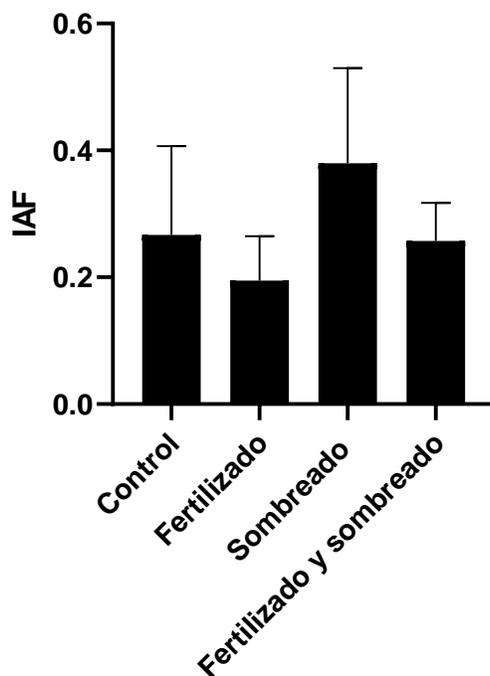
E.E: error estándar, n.s: diferencias no significativas entre las medias.



**Figura 16.** Área foliar (AF) del clon EETP-800 bajo cuatro tratamientos. N.S. Barras verticales representan el error estándar del tratamiento.

### 6.1.5.2 Índice de área foliar (IAF).

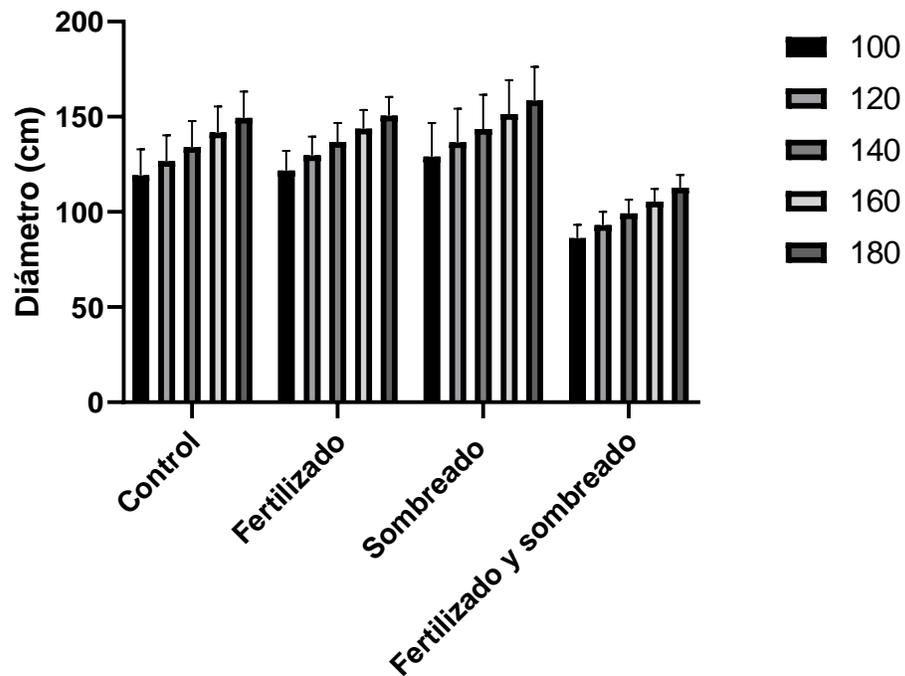
Tras conocer los resultados del AF, se esperaba que el IAF (Figura 17), conserve la misma tendencia; se comprobó que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, sobre el IAF de la planta ( $p$ -valor = 0,5930), y de igual manera, el tratamiento T3 y T4 presentaron un mayor IAF, aunque no llega a ser estadísticamente significativo.



**Figura 17.** Índice de área foliar del clon EETP-800 bajo cuatro tratamientos. Barras verticales representan el error estándar.

### 6.1.6 Diámetro de copa.

En el diámetro de copa, no existieron diferencias significativas entre los tratamientos ( $p > 0,05$ ), sin embargo, se puede observar que a lo largo de los días de medición se presentó una tendencia en donde el T3 (fertilización 0% - sombra 80%) y el T2 (fertilización 100% - sombra 0%) obtuvieron un mayor diámetro de copa, a diferencia del T4 (fertilización 100% - sombra 80%) obtuvo una menor medición.

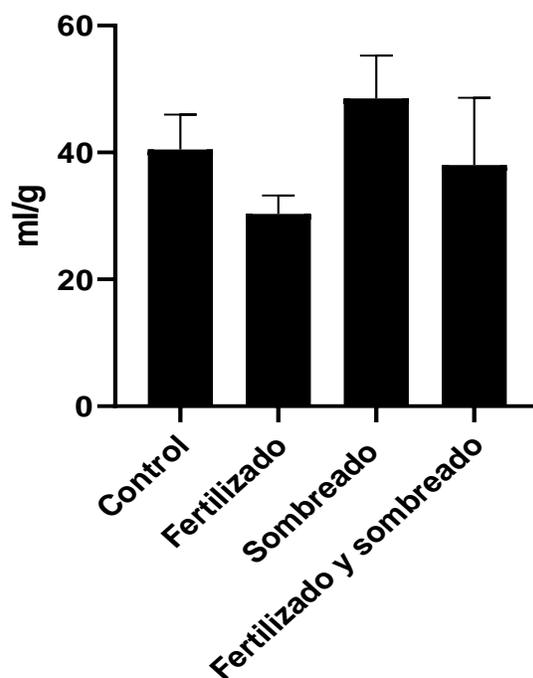


**Figura 18.** Diámetro de copa del clon EETP-800 bajo cuatro tratamientos, a partir de los 100 días después de iniciado el tratamiento, hasta el final del ensayo (180 días); Barras verticales representan el error estándar.

## 6.2 Variables fisiológicas.

### 6.2.1 Concentración de clorofila.

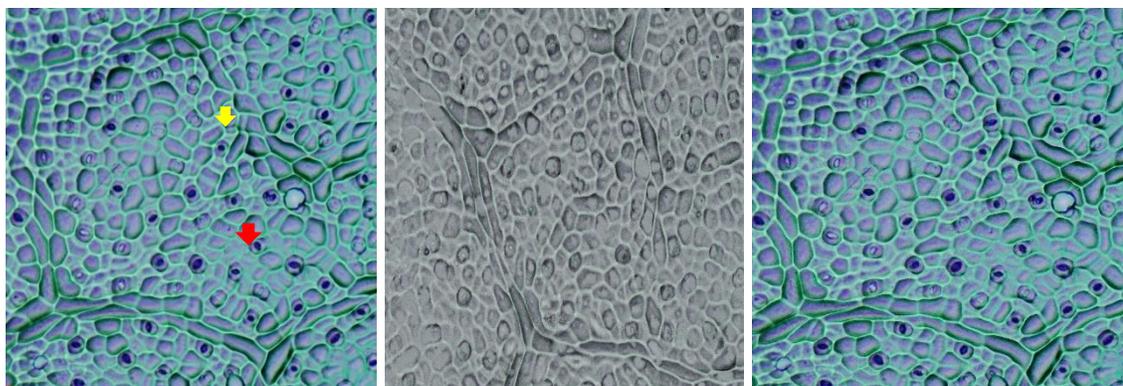
La concentración de clorofila total en el clon EETP-800, a los 180 días después de la aplicación de tratamientos, no se encontraron diferencias estadísticas significativas ( $p > 0.05$ ) entre los tratamientos. Pese a que no existieron diferencias significativas, la interacción sombra – nutrición, se observaron diferencias aritméticas, con valores más altos de concentración de clorofila expresados en mL/g, como se muestra en la figura 18, en donde observamos que el tratamiento T3 tuvo un mayor contenido de clorofila, seguido del T1 y T4, y un menor contenido de clorofila lo presentó el T2.



**Figura 19.** Concentración de clorofila total, contenido en hojas de cacao clon EETP-800, a los 180 días después de la aplicación de los tratamientos, no se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), Barras verticales representan el error estándar.

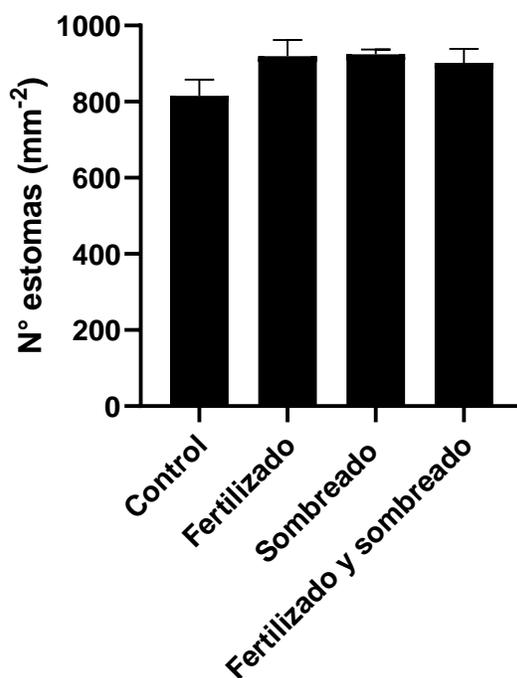
### 6.2.2 Densidad estomática.

En las siguientes imágenes se pueden observar células epidérmicas, células oclusivas y ostiolo de un estoma, presentes en la hoja de cacao del clon EETP 800, observadas con el microscopio con un aumento de 20x, las fotos fueron tomadas a través del programa micro cam.



**Figura 20.** Estomas en hojas de cacao clon EETP-800, flecha roja indica las células oclusivas y el ostiolo de un estoma, La flecha amarilla indica células epidérmicas.

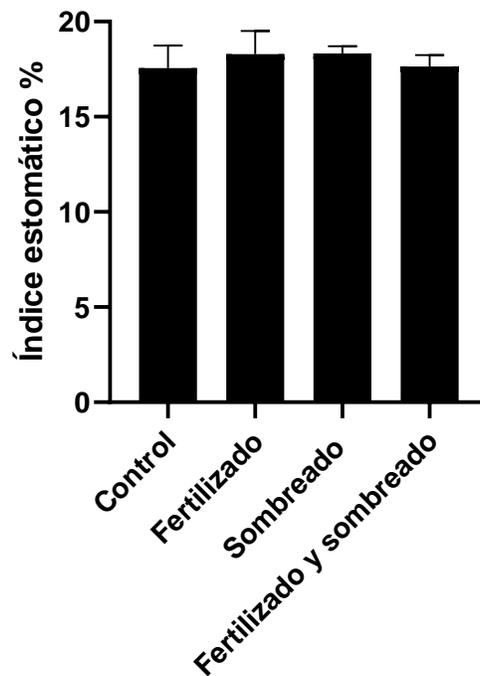
La densidad de estomas  $\text{mm}^{-2}$ , a los 180 DDT, no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo, fue mayor en el tratamiento de Fertilización 0% y sombra 80% (T3) y el tratamiento que presento un menor contenido de estomas fue el T1, que es el tratamiento control. (Figura 21).



**Figura 21.** Número de estomas por  $\text{mm}^2$  del clon EETP-800, en cuatro tratamientos, Barras verticales representan el error estándar

### 6.2.3 Índice estomático.

En cuanto al índice estomático, no existieron diferencias significativas entre los tratamientos, donde se pudo evidenciar que el tratamiento de fertilización 0% y sombra 80% (T3) obtuvo un índice más alto a diferencia del tratamiento control (T1) fue el que obtuvo los promedios inferiores.



**Figura 22.** Índice estomático del clon EETP-800, bajo cuatro tratamientos, T1: Testigo, T2: Fertilización 100% - sombra 0%, T3: Fertilización 0% - sombra 80%, T4: Fertilización 100% - sombra 80% N.S. Barras verticales representan el error estándar.

#### 6.2.4 Análisis de pH y conductividad eléctrica del suelo.

En la figura 23 se observa que no existieron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre los tratamientos evaluados. El pH inicial obtenido a través de un análisis de suelo al inicio del ensayo fue de 5,42. Al pasar de los días de aplicación de los tratamientos se tuvo como resultado que el pH determinado de forma individual por tratamiento no presentó diferencias estadísticamente significativas, al final del ensayo se obtuvo un pH ubicado entre 4,6 a 5,7.

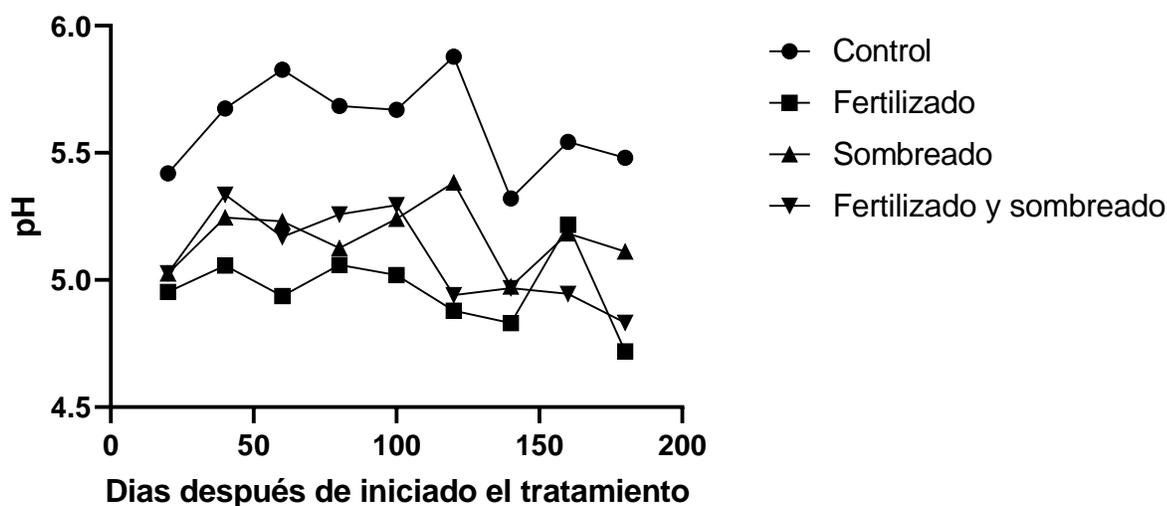


Figura 23. pH del suelo bajo cuatro tratamientos en el clon EETP 800

En cuanto a la conductividad eléctrica, se encontraron diferencias estadísticamente significativas solo en el factor fertilización ( $p > 0,05$ ), que fueron los tratamientos fertilización (T2) y la fertilización y sombreado (T4), en donde el tratamiento que tiene solo fertilización obtuvo mayores valores de CE.

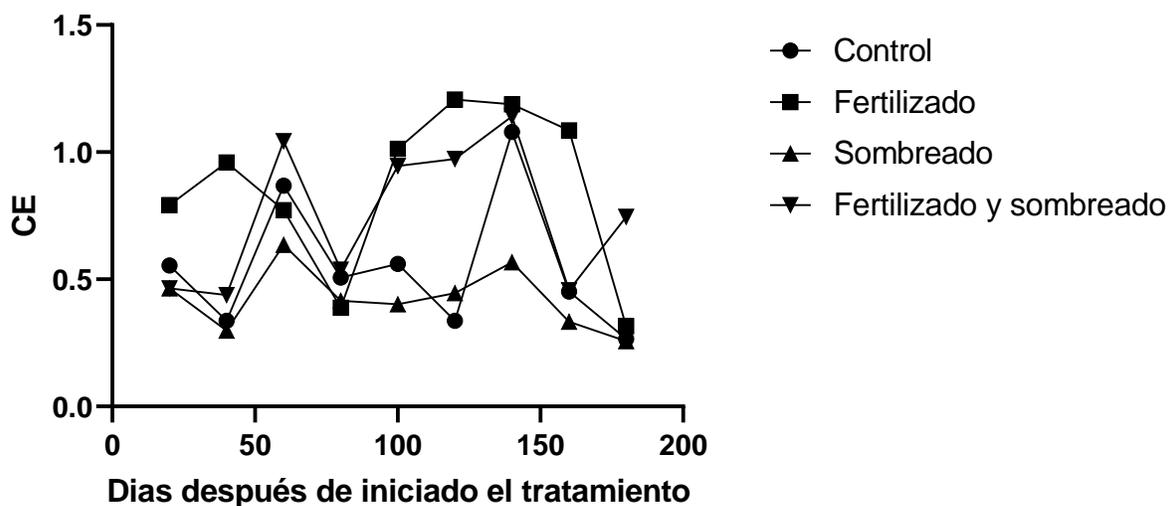


Figura 24. Conductividad eléctrica del suelo (C.E) del clon EETP-800 bajo cuatro tratamientos.

### 6.3 Correlaciones de variables.

En la Tabla 11, se encuentran las correlaciones entre las variables, podemos destacar

aquellas correlaciones positivas de carácter muy significativas: Altura – ASTT P.I ( $r = 0,708$ ) y Altura–ASTT B ( $r = 0,728$ ), correlaciones positivas entre: Lon. Brot (TCA Brote-AF-IAF-Incr. Brote) al igual que TCA. Altura (AF-IAF-TCA. Brote-Incr. Brote); AF (Incr. Altura-Incr. Brote); y Estomas-I. E, ya que, a mayor número de estomas, se incrementa el índice estomático.

Tabla 11 Correlaciones de variables morfológicas y fisiológicas

| Variable 1   | Variable 2   | Pearson | p-valor |
|--------------|--------------|---------|---------|
| Altura       | ASTT P.I     | 0,708   | 0,002   |
| Altura       | ASTT B.      | 0,728   | 0,001   |
| Lon. Bro     | TCA. Brote   | 0,999   | 0,000   |
| Lon. Bro     | AF           | 0,591   | 0,016   |
| Lon. Bro     | IAF          | 0,592   | 0,016   |
| Lon. Bro     | Incr. Brote  | 0,999   | 0,001   |
| TCA. Altura  | AF           | 0,568   | 0,022   |
| TCA. Altura  | IAF          | 0,563   | 0,023   |
| TCA. Altura  | TCR Altura   | 0,627   | 0,009   |
| TCA. Altura  | Incr. Altura | 1,000   | 0,001   |
| TCA. Altura  | Ph           | 0,503   | 0,047   |
| TCA. Brote   | AF           | 0,581   | 0,018   |
| TCA. Brote   | IAF          | 0,583   | 0,018   |
| TCA. Brote   | Incr. Brote  | 1,000   | 0,001   |
| ASTT B.      | pH           | 0,644   | 0,007   |
| AF           | IAF          | 0,999   | 0,001   |
| AF           | Incr. Altura | 0,568   | 0,022   |
| AF           | Incr. Brote  | 0,581   | 0,018   |
| AF           | Ph           | 0,507   | 0,045   |
| IAF          | Incr. Altura | 0,563   | 0,023   |
| IAF          | Incr. Brote  | 0,583   | 0,018   |
| IAF          | pH           | 0,504   | 0,046   |
| TCR Altura   | Incr. Altura | 0,627   | 0,009   |
| Incr. Altura | pH           | 0,503   | 0,047   |
| Estomas      | I.E.         | 0,626   | 0,029   |

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

## 7. DISCUSIÓN.

En los últimos años en Ecuador se cultivan principalmente; el Cacao CCN-51 y el denominado Cacao Nacional. Ante ello surge la necesidad de crear nuevas variedades de cacao que mantengan su calidad y que sean del tipo finos de aroma, características muy demandadas a nivel mundial. Por ello el INIAP tras un arduo trabajo por más de dos décadas de investigación y desarrollo en el área de mejoramiento genético, generó el clon EETP 800, con lo cual se demuestra que sí es posible aumentar significativamente los niveles de producción por hectárea en el cacao tipo Nacional fino y de aroma, a niveles iguales o superiores al CCN51 (Rodríguez, 2019). Es por ello que el clon EETP 800 al ser prácticamente nuevo, se desconoce su adaptabilidad a distintos ambientes. Posteriormente en Zamora Chinchipe una zona de producción por excelencia de este cultivo, se decidió probar el comportamiento agronómico de este clon y las posibles ventajas económicas que puede llegar a generar a los productores cacaoteros de esta región.

A lo largo de los días del ensayo, las plantas sometidas bajo cuatro tratamientos distintos, no mostraron diferencias significativas en los parámetros morfológicos, como fue altura, ASTT, TCA, AF e IAF, a diferencia de longitud de brote que es en donde se mostró diferencias significativas. Pero a pesar de esto se cree que la nutrición suministrada al cultivo, tuvo un efecto en el mayor desarrollo vegetativo mostrado en plantas de cacao clon EETP 800, ya que este ensayo, es el seguimiento de un proyecto ya ejecutado y por ende las necesidades nutricionales del cultivo no eran muy altas.

### **Altura de planta.**

A los 80 días de evaluación después de la aplicación de los tratamientos se registró el mayor valor de altura de planta (229,20 cm), correspondiente al T1 (testigo). Lo cual confirma con lo mencionado por Lindner (2013), que un incremento del crecimiento en esta especie está ligada directamente con un aumento de la intensidad de la luz, al estar la planta expuesta directamente al sol ayuda a activar la fotosíntesis, proceso mediante el cual la planta a través de las hojas elabora sus compuestos nutricionales y por ende la plantación tiene un desarrollo más eficaz, ya que muchas veces la sombra inadecuada puede producir daño a las plantas, convirtiéndose en un problema para el crecimiento, desarrollo y producción del cacao.

Esto se contradice lo dicho por Navarro (2006) que señala que al poner sombra temporal a las plantas de cacao jóvenes les ayuda a acelerar su crecimiento, contribuye a reducir la

evapotranspiración y reducir costos de establecimiento y manejo en los primeros años de vida, debido a que producen en pocos meses y parte de la producción puede venderse para garantizar el manejo y enfrentar otras demandas del cultivo de cacao, en estas contradicciones que surgen en los estudios realizados por diferentes autores recae la importancia de esta investigación.

### **Longitud de brote.**

En cuanto a la longitud de los brotes a los 20 días después de la aplicación de los tratamientos (DDT) no hubo diferencias significativas, mientras que a partir de los 40 hasta los 80 DDT entre el T3 y T4 frente al resto, sí hubo diferencias significativas, esto debido quizás a que como menciona Rodríguez (2014), que una buena aplicación de fertilizantes lleva a cabo funciones trascendentales para el adecuado crecimiento y desarrollo de las plantas. Los efectos y beneficios de la sombra ayudan a equilibrar la temperatura de la plantación por lo que reduce la evapotranspiración y por ende aporta materia orgánica a través de residuos que ayuda a la planta para un mejor crecimiento en cada una de sus estructuras (IICA, 2017).

Benedetto, (2016) señala que la descripción del crecimiento de una planta, o de un cultivo, a lo en su ciclo de vida o de producción, así como la evaluación de tratamientos capaces de modificar la acumulación de biomasa de un vegetal requieren indicadores objetivos que puedan ser validados estadísticamente. Las técnicas de análisis del crecimiento son herramientas útiles para estos fines, como la tasa de crecimiento absoluta, tasa de crecimiento relativa, área foliar, índice de área foliar y el diámetro de copa, pueden aplicarse en múltiples situaciones, pero su empleo en cultivos intensivos presenta aspectos particulares y precauciones a ser tenidos en cuenta.

### **TCA de longitud de brote.**

En cuanto a la TCA de la longitud de los brotes, no se presentaron diferencias estadísticas significativas, pese a esto el tratamiento que fue solo fertilización fue más bajo con respecto a los tres tratamientos restantes, ya que presentó valores entre 0,09 hasta 0,12 cm/día, a diferencia del T3 con valores más altos que van desde 0,13 hasta 0,18 cm/día, esto se relaciona con lo dicho por García, (2009) que las plantas en ambientes de alta disponibilidad de luz, generalmente presentan tasas de asimilación neta (TAN) más altas y mayor inversión de biomasa para las raíces, debido a que el crecimiento es estimulado, caso contrario ocurre cuando las plantas están con fertilización y bajo sombra muestran aproximadamente el doble de área foliar por unidad de biomasa, es decir asignan más biomasa a los órganos fotosintéticos para incrementar el área de exposición y

maximizar la intercepción de la luz.

### **Índice de área foliar.**

INTAGRI (2016), el IAF permite estimar la capacidad fotosintética de las plantas y ayuda a entender la relación entre acumulación de biomasa y rendimiento bajo condiciones ambientales imperantes en una región determinada. En el ensayo encontramos que no existieron diferencias estadísticas significativas entre los cuatro distintos tratamientos, pero sin embargo el T3 y el T4 presentaron valores mal altos a diferencia del T2, concordando con Salazar *et al.*, (2018) quienes encontraron que los árboles de cacao sometidos a radiación solar directa presentaron un área foliar específicamente baja.

El índice de área foliar en las mediciones realizadas a los 180 días es decir al final del ensayo, se pudo evidenciar que al igual que el área foliar se conservó la misma tendencia en donde no existió diferencia estadística significativas entre los tratamientos, pero el T3 y el T4 presentaron un mayor IAF, a diferencia del T2 que obtuvo menores promedios, tal y como señala Gómez, (2002) quien evaluó el efecto de diferentes intensidades de luz en el cultivo de cacao sobre el intercambio gaseoso y desarrollo del cacao criollo, probando distintos niveles de sombreo 0, 40, 60 y 80 % en donde el valor más alto correspondiente a área foliar (cm<sup>2</sup>) fue para el tratamiento de sombreo al 80 %, ya que este permitió que las plantas obtengan un mayor IAF, a diferencia del resto.

### **Diámetro de copa.**

Al evaluar el diámetro de copa en este ensayo no se presentaron diferencias estadísticas significativas a lo largo de las mediciones aunque el T3 a diferencia del resto de tratamientos obtuvo un mayor diámetro de copa, lo cual sugiere la necesidad de colocar sombra tempranamente al cacao tal y como recalca APPCACAO (2018), los árboles bajo sombra mejoran las propiedades físicas de los suelos, incrementan el porcentaje de nutrientes y facilitan el drenaje y por ende se mejora el dosel de las plantaciones. Malleux, (2010) señala que el diámetro de copa nos da una idea sobre la proporción de tamaño del árbol en términos generales

### **Fertilización.**

Es importante conocer la cantidad de elementos que extraen la plantas para devolverlo al suelo, antes de iniciar cualquier tipo de fertilización es preciso conocer el nivel de fertilidad natural del suelo. Este diagnóstico se realizó por medio de análisis de suelo (ANEXO 2), en donde tenemos una cantidad baja de azufre (S) al igual que de boro (B), que previo a la interpretación

se procedió a corregir y elaborar un plan de fertilización que es de vital importancia para el cultivo, tal y como lo recalca Salinas, (2006) un análisis de suelo permite, a través de la toma de muestras y su posterior análisis químico, en caso de lotes en producción, determinar el nivel de disponibilidad de nutrientes y a partir de allí, a través del conocimiento de las necesidades de los cultivos, hacer recomendaciones de fertilización para lograr mejores rendimientos; y en el caso de campos nuevos, determinar en primera instancia los distintos tipos de suelos que pueden presentarse en un establecimiento y a partir de allí, conocer la aptitud de los mismos. Con esto nos permitirá de acuerdo al manejo establecido en el sistema de producción, hacer una fertilización de balance (aportando lo que le falta al suelo para llegar a un rendimiento esperado) o bien fertilización de restitución (agregando la totalidad de los nutrientes que extrae el cultivo) (Agolabs, 2017).

Mengel y Kirkby, (2000), la nutrición del cultivo es uno de los factores de gran importancia al momento del manejo de las plantas, debido a que puede ser determinante y ocasionar anomalías como deficiencias o toxicidades, por ello es crucial conocer la dosis adecuada para cada especie, porque tiene la función de proporcionar la energía necesaria para el crecimiento y el metabolismo, esto comprende una serie de variadas reacciones que ocurren en una célula viva para mantener la vida y el crecimiento (Zambrano, 2021). Así, la nutrición y el metabolismo están cercanamente relacionados entre sí los resultados lo evidencian ya que en los análisis estadísticos efectuados a pesar de que no existieron diferencias entre tratamientos, el más destacado en las variables de crecimiento fue el de sombra y la interacción fertilización y sombra.

Luego del análisis de suelo, conociendo las deficiencias nutricionales del sector y los requerimientos del cultivo, se realizó un plan de fertilización, el cual consto de varias aplicaciones, con la finalidad de evitar pérdidas de nutrientes por volatilización o lixiviación, facilitando a la planta los elementos nutritivos en las épocas más adecuadas para un mejor aprovechamiento. Guzmán y Betancourt (2007) recalcan que la respuesta a la aplicación de fertilizantes se maximiza cuando la reserva nutricional del suelo es mejorada y el balance de bases a nivel foliar es adecuado, siendo suficientes varias aplicaciones de fertilizante compuesto al año.

Cabe señalar que existió un ataque de plagas que afecto al cultivo de una manera significativa, esto influyó negativamente en el crecimiento y desarrollo vegetativo de las plantas de cacao clon EETP800, siendo el más afectado el T2, tal y como lo demuestra otra investigación realizada en el sector que trata de la Incidencia e identificación de plagas en tres clones de cacao;

Alarcón (2012) afirma que las pérdidas que ocasionan las plagas y enfermedades en los cultivos de los países desarrollados pueden cifrarse entre el 10 y 20 % del total de la producción, según los cultivos, ya que estas especies dañan directamente a los órganos de la planta como las hojas, tallos, raíz flores y frutos y por ende tiende a retrasar el correcto desarrollo de las plantas.

### **pH del suelo.**

El suelo del sector en donde se realizó el ensayo es ácido, ya que con estudios previos se determinó que posee un pH, de 5,42. Por lo general, estos tipos de suelos limitan la disponibilidad, la absorción y la concentración de nutrientes y el rendimiento del cultivo de cacao, esto coincide con lo dicho por Toledo (2016), los suelos ácidos se dan en regiones como la Amazonía ya que se presentan largos períodos en que la cantidad de lluvia sobrepasa la evaporación, esta elevada precipitación genera lixiviación o lavado de cationes intercambiables, además debido a la alta descomposición de residuos presentes en el sector ocasiona que al descomponerse la materia orgánica por la acción de los microorganismos del suelo, se libera dióxido de carbono que se transforma fácilmente en bicarbonato, esta reacción libera hidrógeno que acidifica el suelo (Castellano, 2016).

Con respecto al pH, no se mostraron diferencias entre los tratamientos, y, aunque el pH inicial fue de 5,42 como se mencionó anteriormente, (Anexo 2), el pH final se ubicó entre 4 a 5,48 (Figura 23), valores que se encuentran dentro de los propuestos por Dostert et al. (2011), pues expresa que las plantas de cacao toleran un pH de 5,0 a 7,5; fuera de estos rangos se deben realizar correcciones al suelo antes de implementar este cultivo; la variabilidad en los valores de pH.

### **Conductividad eléctrica.**

Para INTAGRI (2017) la conductividad eléctrica (CE), mide la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica al aprovechar la propiedad de las sales en la conducción de esta; por lo tanto, la CE mide la concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo. En el ensayo encontramos que en dos tratamientos se registraron valores de CE mayores a  $1 \text{ dS/cm}^{-1}$ , es decir que el suelo presentó problemas de sales, esto concuerda con Castellanos (2000) menciona que los suelos con CE menores a  $1 \text{ dS/cm}^{-1}$  son suelos libres de sales y por tanto no existe restricción para ningún cultivo. De manera general en nuestro estudio se encontraron valores medios de CE, en el T2 tenía un valor bajo hasta los 80 DDT, después de esto a los 100 DDT en adelante presentaron un rango que fue de 1,01 a 1,08; en el T4 se presentó un alto rango

de CE en los días 60 y 140 DDT con un rango que fue de 1,0 a 1,1, esto quiere decir que existió problemas en los tratamientos que estuvieron bajo fertilización, esto coincide con el estudio de Maher, (2020), los fertilizantes empleados en agricultura contienen sales que incrementan el valor de la conductividad eléctrica del suelo, esto aumenta el esfuerzo que tiene que realizar la raíz de la planta para absorber los nutrientes de la solución de fertilizantes aportada. Por tanto, si se encuentra por encima del valor óptimo para el cultivo, la planta tendrá que esforzarse en mayor medida para extraer los nutrientes.

En las variables fisiológicas, no se encontraron diferencias estadísticas significativas en los cuatro tratamientos aplicados, los parámetros de medición fueron, concentración de clorofila y densidad estomática, índice estomático, pH y CE.

### **Concentración de clorofila.**

Pese a no existir diferencias estadísticas significativas en lo que tiene que ver con la concentración de clorofila, a los 180 DDT, se observaron diferencias aritméticas, con valores más altos de concentración de clorofila expresados en mL/g, como se muestra en la figura 18, en donde observamos que el tratamiento T3 tuvo un mayor contenido de clorofila total, seguido del T1 y T4, y en menor concentración de clorofila se presentó en el T2, esto quiere decir que la interacción sombra y fertilización podrían influir positivamente en el cultivo, esto se respalda con lo dicho por Tezara, (2008), en el sentido de que las plantas de cacao deben ser sembradas bajo sombra parcial, en un sistema agroforestal, lo cual favorece el incremento en las concentraciones de clorofila que influye en mayores tasas de asimilación de CO<sub>2</sub>.

Lograr una sombra que sea aproximadamente un 60 % de la luz que llega al dosel del sistema podría ser lo más apropiado para la mayoría de los cultivares de cacao. Así lo mencionan otras investigaciones que evaluaron el comportamiento fisiológico de cacao probando distintas intensidades de luz y obteniendo mayores tasas fotosintéticas (Agudelo *et al.*, 2018).

Cabe mencionar que el T2 debido a que presentó menor área foliar, tuvo una actividad fotosintética baja, produciendo menor contenido de clorofila y captadores de luz, por lo que es aceptable considerar que la sombra en las plantas aumentará la tasa fotosintética neta del cultivo, tal y como lo respalda Pérez et al. (2009), el exceso de luz tiende a saturar a la hoja. Al respecto hay varios motivos que contribuyen a ello, ya sea por cierre de los estomas para evitar la deshidratación de la hoja por exceso de evaporación, por la respiración acelerada, o bien por oxidación de la clorofila que se inactiva cuando no puede ceder electrones a los enzimas que van

a realizar la fotosíntesis ya que están saturados.

### **Densidad estomática.**

La densidad estomática nos permitió conocer el número de estomas por unidad de área foliar y representa un integrador de la interacción planta-ambiente a nivel foliar, en el clon EETP800 no se encontraron diferencias significativas en los cuatro tratamientos, pese a esto se pudo evidenciar que el T3 y T4 presentaran mayor contenido de estomas si no valores dentro del rango de 907 a 949 y 832 a 947 estomas  $\text{mm}^{-2}$  respectivamente, a diferencia del T1 que presentó valores dentro del rango de 749 a 896 estomas  $\text{mm}^{-2}$ , esto da a entender que la sombra y fertilización en el cultivo de cacao influye positivamente en la densidad estomática de la planta, contradicen contraste con Romero et al. (2019) quienes reportaron que la densidad estomática varió significativamente entre hojas de sombra y de luz, siendo éstas últimas las que mayor densidad estomática presentaron. Esto se debe posiblemente a que, una mayor densidad estomática en hojas con mayor exposición lumínica, equivale a un incremento en la energía absorbida por unidad de área foliar, por lo que mayor incidencia lumínica generaría una mayor necesidad de disipación de calor.

Azcón et al. (2008) nos dice que el índice estomático es una medida relativa que parte de un supuesto inicial en donde la densidad estomática mantiene una relación constante y por tanto reproducible con respecto al total de células no estomáticas observadas en un área del campo visual del microscopio. En el ensayo no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, siendo el T1 el que presentó un valor promedio más bajo a diferencia de los demás tratamientos (figura 21), por lo general en el ensayo se pudo evidenciar que existió una relación constante entre el número de células estomáticas con respecto a la suma de células estomáticas y no estomáticas observadas en el microscopio.

## **8. CONCLUSIONES.**

- La fertilización, independientemente de la sombra, mantuvo el pH en niveles de tolerancia aceptables, al igual que con la conductividad eléctrica para este cultivo en estos suelos.
- La interacción fertilización y sombra favorece el incremento de la longitud del brote, más no el resto de variables morfológicas, usando el clon EETP-800, en la etapa vegetativa.
- Con el clon EETP-800, la sombra tiene un efecto positivo sobre la planta, incrementando la densidad estomática, y tasa fotosintética.

## **9. RECOMENDACIONES.**

- Es muy importante que se mantenga esta investigación hasta que la plantación entre a fase productiva, ya que este es un parámetro que permitirá conocer si el clon EETP 800 alcanzará los promedios de rendimientos esperados frente a los del CCN 51.
- Analizar los contenidos bromatológicos a nivel foliar del cacao clon EETP 800 con la finalidad de determinar la asimilación de los nutrientes frente a la aplicación de fertilizantes.
- Evaluar el ciclo fenológico del cultivo de cacao, para que permita determinar los días de duración de cada etapa del cultivo de cacao.
- Monitorear periódicamente el pH del suelo, ya que permitirá conocer la acidez que es un factor importante en las reacciones químicas y solubilidad de los nutrientes en las plantas.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad, A., Acuña, C., & Naranjo, E. (4 de 11 de 2019). Revistas UASB. El cacao en la Costa ecuatoriana: estudio de su dimensión cultural y económica Obtenido de <https://revistas.uasb.edu.ec/index.php/eg/article/view/1442/1349>
- Agolabs. (03 de 02 de 2017). agqlabs. El análisis de suelos agrícolas es una herramienta fundamental para un correcto programa de fertilización Obtenido de <https://agqlabs.co/2017/02/03/la-importancia-del-analisis-suelos-agricolas/>
- Agudelo, G., Cadena, J., Almanza, P., & Pinzón, E. (2018). Scielo. Desempeño fisiológico de nueve genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo la sombra de tres especies forestales en Santander, Colombia Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v12n1/2011-2173-rcch-12-01-223.pdf>
- Alarcón, J. (2012). ICA. Manejo fitosanitario del cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.) Medidas para la temporada invernal Obtenido de [https://www.ica.gov.co/getattachment/c01fa43b-cf48-497a-aa7f-51e6da3f7e96/-](https://www.ica.gov.co/getattachment/c01fa43b-cf48-497a-aa7f-51e6da3f7e96/)
- Alvarado, C. (2016). Repositorioec. Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica, en el rendimiento de un clon de cacao (*theobroma cacao* l) y en la fertilidad del suelo Obtenido de [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/9843/efecto\\_fertilizaci%C3%B3n\\_org%C3%A1nica\\_inorg%C3%A1nica\\_rendimiento\\_clon\\_cacao\\_%28theobroma%20cacao%2C%201%29%20\\_en\\_la\\_fertilidad\\_del\\_suelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/9843/efecto_fertilizaci%C3%B3n_org%C3%A1nica_inorg%C3%A1nica_rendimiento_clon_cacao_%28theobroma%20cacao%2C%201%29%20_en_la_fertilidad_del_suelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- ANACAFE. (Julio de 2004). *Infocafes*. CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao*) Obtenido de <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/05/Cultivo-de-Cacao.pdf>
- Andrade, M. (2014). Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. Logroño: Universidad de la Rioja. Tercera edición. SBN 978-84-6959286-1. pp. 20.
- APPCACAO. (2018). Cadenacacao. Desarrollo competitivo del cultivo de cacao con pequeños agricultores de la convención Obtenido de [http://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/Instalacion\\_de\\_sombras\\_en\\_plantaciones\\_de\\_cacao.pdf](http://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/Instalacion_de_sombras_en_plantaciones_de_cacao.pdf)
- Azcón-Bieto, J y Talón, M. 2008. Fundamentos de Fisiología Vegetal. Ed. McGrawHill/Interamericana, España

- Benedetto, D. (19 de 02 de 2016). Ria. Obtenido de [http://ria.inta.gob.ar/sites/default/files/revisiones/di-benedetto-castellano-4\\_1.pdf](http://ria.inta.gob.ar/sites/default/files/revisiones/di-benedetto-castellano-4_1.pdf)
- Bieto, A. (2008). *Fundamentos de la fisiología vegetal*. Madrid, España: Me Graw-Hill interamericana de España S.A.
- Cabala, Rosand, Miranda, E., & Prado, E. (1975). *Respostas do cacauero a doses crescentes de nutrientes*. Centro de Pesquisas do Cacau. Bahia, Itabuna, Brasil.
- Cabala-Rosand. (s.f.). *Respostas do cacauero a doses crescentes de nutrientes*. Centro de Pesquisas do Cacau. Bahia, Itabuna, Brasil.
- CAF. (2017). CAF. Latinoamérica produce el 80% del cacao prime del mundo. Obtenido de <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2017/11/latinoamerica-produce-el-80-del-cacao-prime-del-mundo/#:~:text=Am%C3%A9rica%20Latina%20es%20la%20principal,principalmente%20a%20su%20diversidad%20gen%C3%A9tica>.
- Castellano, J. (12 de 02 de 2016). Intagri. Manejo y corrección de acidez de suelo. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/manejo-y-correccion-de-acidez-de-suelo>
- Carvajal, A., Olaya, A., & Gustavo, L. (26 de Agosto de 2017). *Repositorio ucsg*. Análisis del sector cacaotero y elaborados para la creación de propuestas de incentivo al nivel de exportación. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/9027/1/T-UCSG-PRE-ESP-CFI-342.pdf>
- Costa, L., Almeida, A., & Valle, R. (2001). *Intercambio de gases, asimilación de nitratos*. Estados Unidos: Sci. Biotech.
- Dostert, N., Roque, J. Cano, A., La Torre, M., y Weigend, M.. (2011). Factsheet: Datos botánicos de cacao Theobroma cacao L. octubre 04, 2021, de PromPerú Sitio web: [http://repositorio.promperu.gob.pe/bitstream/handle/123456789/1051/Factsheet\\_datos\\_botanicos\\_cacao\\_2011\\_keyword\\_principal.pdf?sequence=1](http://repositorio.promperu.gob.pe/bitstream/handle/123456789/1051/Factsheet_datos_botanicos_cacao_2011_keyword_principal.pdf?sequence=1)
- Dubón, A. (2016). *Fhia*. Establecimiento de la sombra para plantaciones nuevas de cacao Obtenido de [http://www.fhia.org.hn/downloads/cacao\\_pdfs/infocacao/infocacao\\_no7\\_mar\\_2016.pdf](http://www.fhia.org.hn/downloads/cacao_pdfs/infocacao/infocacao_no7_mar_2016.pdf)
- Duran, F. (2014). *Cultivo y Explotación del Cacao Grupo Latino*. (Primera edición ed.).

- Espinosa, C., & Mosquera, D. (2011). *Dspace*. Estudio de factibilidad para la producción de cacao en el cantón san lorenzo, provincia de esmeraldas Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1559/1/T-UCE-0005-181.pdf>
- Espinosa, J. (2021). *Dspace*. EFECTO DE DOS NIVELES DE SOMBRA Y NUTRICIÓN SOBRE EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO VEGETATIVO EN CACAO (*Theobroma cacao* L.) CLON CCN51 EN LA PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23934/1/Jorge%20Geovanny%20Espinoza%20Masa.pdf>
- Estrada , W., Castellano, G., & Peraza, A. (2011). *Guía técnica del cultivo de cacao manejado con técnicas agroecológicas. El Salvador. . CIIETA.*
- FAO. (2018). FAO. La exportación de cacao generó 336,5 millones de dólares americanos en últimos dos años. Obtenido de <https://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/505945/>
- García, A. (2009). *Sintomatología de las deficiencias nutricionales en cacao*. Colombia.
- García , K., Romo, R., Pereira, C., & Gomez , R. (25 de 11 de 2015). Scielo. Tasa relativa de crecimiento en plántulas de dos poblaciones de *Magnolia pugana* (Magnoliaceae) en distintos niveles de luz y fertilidad del suelo Obtenido de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v66n2/0034-7744-rbt-66-02-622.pdf>
- Gómez, A. 2002. Efecto de diferentes intensidades de luz sobre el intercambio gaseoso y desarrollo del Cacao Criollo Guasare. Tesis de Postgrado de Ecología Tropical, Facultad de Ciencias – Universidad de los Andes.
- González, E. (2004). *INIAP*. Cacao organico. Guia para productores ecuatorianos. Obtenido de <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=EC2005000005>
- Guzmán, M., & Betancourt, J. (2007). FAO. Los fertilizantes y su uso. Obtenido de <https://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>
- Huachos, H. (01 de Noviembre de 2015). *Repositorio UNCP*. Importancia del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L). Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/553/THAH877.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- IICA. (2017). BVE. ASPECTOS BÁSICOS DE LA NUTRICIÓN MINERAL DE LAS PLANTAS ABSORCIÓN FOLIAR DE SUSTANCIAS ÚTILES EN LA APLICACIÓN DE

AGROQUÍMICOS AL FOLLAJE Obtenido de

<http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Curso%20Fertilizaci%C3%B3n%20Foliar.pdf>

Infocacao. (Marzo de 2016). *Fhia*. Establecimiento de la sombra para plantaciones nuevas de cacao. Obtenido de

[http://www.fhia.org.hn/downloads/cacao\\_pdfs/infocacao/infocacao\\_no7\\_mar\\_2016.pdf](http://www.fhia.org.hn/downloads/cacao_pdfs/infocacao/infocacao_no7_mar_2016.pdf)

INIAP. (2018). *Repositorio INIAP*. INIAP-EETP-800 e INIAP-EETP-801 NUEVOS CLONES DE CACAO FINO Y DE AROMA CON ALTO RENDIMIENTO. Obtenido de

<https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5240>

Intagri. (2016). Intagri. (G. México, Editor). Índice de área foliar. Obtenido de

<https://www.intagri.com/articulos/cereales/el-indice-de-area-foliar>

iaf#:~:text=El%20%C3%ADndice%20de%20%C3%A1rea%20foliar,tambi%C3%A9n%20expresado%20en%20m2

Jiska, A., Maja, S., & Ken, E. (2015). Nutrición de cacao. Obtenido de

<file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Mineral%20nutrition%20of%20cocoa%20WU.pdf>

Liendo, R. (2005). *Infocafes*. Procesamiento del cacao para la fabricación de chocolate y sus subproductos. Obtenido de [http://infocafes.com/portal/wp-](http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/03/El_Chocolate.pdf)

[content/uploads/2016/03/El\\_Chocolate.pdf](http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/03/El_Chocolate.pdf)

Lindner, R. (2013). Polired. Influencia del sol y de la sombra sobre el crecimiento y desarrollo en poblaciones de *Dactylis glomerata* L. Obtenido de

<http://polired.upm.es/index.php/pastos/article/viewFile/620/620>

Lopez, A. (29 de 12 de 2015). Scpm. Producción y Comercialización de Cacao Fino de Aroma en el Ecuador. Obtenido de [https://www.scpm.gob.ec/sitio/wp-content/uploads/2019/03/ESTUDIO-](https://www.scpm.gob.ec/sitio/wp-content/uploads/2019/03/ESTUDIO-DEL-CACAO-IZ7-version-publica-ultima.pdf)

[DEL-CACAO-IZ7-version-publica-ultima.pdf](https://www.scpm.gob.ec/sitio/wp-content/uploads/2019/03/ESTUDIO-DEL-CACAO-IZ7-version-publica-ultima.pdf)

Maher. (2020). Maher. Conductividad eléctrica del suelo. Obtenido de

<https://www.maherelectronica.com/conductividad-electrica-agricultura/>

Meza, M. (08 de 2018). UNAM. Medición del diámetro (dap) de un árbol. Obtenido de

[https://arquitectura.unam.mx/uploads/8/1/1/0/8110907/ppt\\_medici%C3%B3n\\_del\\_di%C3%A1metro\\_de\\_un\\_%C3%A1rbol.pdf](https://arquitectura.unam.mx/uploads/8/1/1/0/8110907/ppt_medici%C3%B3n_del_di%C3%A1metro_de_un_%C3%A1rbol.pdf)

Mengel, & Kirby. (2000). Aulavirtual. Principios de Principios de Nutrición Vegetal. Obtenido de

[https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod\\_resource/content/2/PRINCIPIOS%20DE%20NUTRICI%C3%93N%20VEGETAL.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod_resource/content/2/PRINCIPIOS%20DE%20NUTRICI%C3%93N%20VEGETAL.pdf)

Montaño, K. (2021). Dspace. Evaluación de dos niveles de sombra y dos niveles de fertilización, sobre parámetros morfológicos y fisiológicos, en etapas tempranas del cacao (*Theobroma cacao* L.), clon EETP 800, en la provincia de Zamora Chinchipe. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23971/1/Kleber%20Antonio%20Monta%C3%B1o%20Tejedor.pdf>

Montes, M. (2016). *DSPACE*. EFECTOS DEL FOSFORO Y AZUFRE SOBRE EL RENDIMIENTO DE MAZORCAS, EN UNA PLANTACIÓN DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) CCN-51, EN LA ZONA DE BABAHOYO. Obtenido de <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/3358/E-UTB-FACIAGING%20AGROP-000009.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Motato, N., Pincay, J. (2015). Calidad de los suelos y aguas para riego en áreas cacaoteras de Manabí. Manejo de Suelos y Agua, EE Portoviejo – INIAP. ISSN: 1390-6895. pp. 18.

Navarro, M., & Mendoza, I. (09 de 2006). Orton. Análisis costo-beneficio del aprovechamiento y la recirculación de los residuos en un sistema productivo de cacao. Obtenido de <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A5288e/A5288e.pdf>

Nelson. (2011). *Estado nutricional del cacao en Papua Nueva Guinea*. Papua: ACIAR.

otros, P. Z. (2005). *A physiological production model for cocoa (Theobroma cacao): model presentation, validation and application*. Agric.

Paredes, M. (2003). *Midagri*. MANUAL DE CULTIVO DEL CACAO. Obtenido de <https://repositorio.midagri.gob.pe/jspui/bitstream/20.500.13036/372/1/cacao%20%20copia.pdf>

Pérez, E., & Urria, C. (2009). Eprints. Fotosíntesis: Aspectos Básicos. Obtenido de [https://eprints.ucm.es/id/eprint/9233/1/Fisiologia\\_Vegetal\\_Aspectos\\_basicos.pdf](https://eprints.ucm.es/id/eprint/9233/1/Fisiologia_Vegetal_Aspectos_basicos.pdf)

Quintero, L., & Díaz, K. (2004). *Researchgate*. El mercado mundial de cacao. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/28124278\\_El\\_mercado\\_mundial\\_de\\_cacao](https://www.researchgate.net/publication/28124278_El_mercado_mundial_de_cacao)

Ramírez, T. (2012). *DSPACE*. Situación de la producción de cacao en la provincia de Zamora Chinchipe: Línea base 2009. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/315/1/SITUACION%20DE%20LA%20PRODUCCION%20D%20CACAO0001.pdf>

- Rodes , G., & Collazo, O. (2006). *Manual de Prácticas de Fotosíntesis. Universidad Autónoma de México.*
- Romero, E., Sánchez, R., Sumich, J., Añino, Y., & Lopez, O. (01 de 03 de 2019). Portal Amelica. VARIACIONES MORFOMÉTRICAS Y DENSIDAD ESTOMÁTICA EN HOJAS DE *Mangifera indica* BAJO CONDICIONES LUMÍNICAS CONTRASTANTES. Obtenido de <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/224/2241124005/html/index.html>
- Salazar, J. C., Melgarejo, L. M., Casanoves, F., Di Rienzo, J. A., DaMatta, F. M., & Armas, C. (2018). Photosynthesis limitations in cacao leaves under different agroforestry systems in the Colombian Amazon. *PLoS ONE*, 13(11), 1–13.
- Saldaña, A. (2016). *Infocafes*. Manual de Agroforestería con énfasis en Cacao y Café. Obtenido de [http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/09/manuales\\_agroforestal\\_en\\_cafe\\_cacao.pdf](http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/09/manuales_agroforestal_en_cafe_cacao.pdf)
- Salinas, A. (2006). Scielo. UTILIDAD E IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS DE SUELOS. Obtenido de [https://www.produccion-animal.com.ar/suelos\\_ganaderos/39-utilidad\\_analisis\\_suelos.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/suelos_ganaderos/39-utilidad_analisis_suelos.pdf)
- Sánchez, M. Á. (2017). *IICA*. Manual Técnico del Cultivo de Cacao Prácticas Latinoamericanas. Obtenido de <https://repositorio.iica.int/bitstream/11324/6181/1/BVE17089191e.pdf>
- Sanchez, V., José, Z., & Cristina, I. (2020). Fontagro. (D. Wellis, C. Marlon, & V. Danilo , Editores). La Cadena de Valor del Cacao en América Latina y El Caribe. Obtenido de [https://www.fontagro.org/new/uploads/adjuntos/Informe\\_CACAO\\_linea\\_base.pdf](https://www.fontagro.org/new/uploads/adjuntos/Informe_CACAO_linea_base.pdf)
- Sarango, C. (2009). *DSPACE*. EFECTO DE TRES NIVELES DE FERTILIZACIÓN QUÍMICA EN EL CULTIVO DE CACAO *Theobroma cacao* L, VARIEDAD RAMILLA CCN 51, PARROQUIA SAN JACINTO DEL BÚA – CANTÓN SANTO DOMINGO. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/bitstream/123456789/5435/1/SARANGO%20BRAVO%20CHRISTIAN.pdf>
- Sukanan, D. (05 de Marzo de 2020). *Ecoportal*. Cultivo de cacao a la sombra, puede ayudar a mitigar el cambio climático. Obtenido de <https://www.ecoportal.net/temas-especiales/suelos/cacao-a-la-sombra/>
- Tezara, W. (30 de 10 de 2008). *Sidalc*. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y FISIOLÓGICA DE 9 SELECCIONES ANCESTRALES DE CACAO NACIONAL EN MANABÍ Obtenido de <http://www.sidalc.net/repdoc/A7723e/A7723e.pdf>

- Tislade, N. y. (1987). *Fertilidad de los suelos y fertilizantes*. Unión. México.
- Toledo, M. (2016). IICA. (M. Villeda, Editor) Obtenido de <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/3108/BVE17069071e.pdf?sequence=1>
- Uribe. (1998). *Efecto de niveles de nitrógeno, fosforo y potasio sobre la producción de cacao en suelo del Departamento de Santander*.
- Uribe, A., Mendez, H., & Mantilla, J. (1998). *Efecto de niveles de nitrógeno, fosforo y potasio sobre la producción de cacao en suelo del Departamento de Santander*. *Rev. Suelos Ecuatoriales*.
- Vaca, E., & Zamora, J. (2010). *Booksgoogle*. Comportamiento productivo y sanitario de selecciones clonales de cacao nacional en varias zonas del litoral Ecuatoriano. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=OkUjAgAAQBAJ&pg=PP15&lpg=PP15&dq=Esta+especie+se+encuentra+actualmente+distribuida+a+lo+largo+de+las+regiones+lluviosas+de+los+tr%C3%B3picos,+desde+los+20%C2%B0+de+latitud+norte+hasta+los+20%C2%B0+de+latitud+sur&source>
- Van Vliet, J., & Giller, K. (2015). *Mineral nutrition of cocoa: a review*. In *Advances in Agronomy* (Vol. 141).
- Vélez, M. (2004). *El fósforo elemento indispensable para la vida*.
- Villagaray, S., & Inga, E. (09 de 2011). *SciELO*. Sistemas agroforestales con tecnología limpia en los suelos del VRAEM, Perú Obtenido de [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1683-07892011000200007](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892011000200007)
- Wessel, M. (1985). *Sombra y nutrición en cacao*. Harlow - United Kingdom: WoodLass.
- Zambrano, M. (2013). *DSPACE*. EFECTOS DEL FOSFORO Y AZUFRE SOBRE EL RENDIMIENTO DE MAZORCAS, EN UNA PLANTACIÓN DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) CCN-51, EN LA ZONA DE BABAHOYO. Obtenido de [http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/3358/E-UTB-FACIAG-ING%20AGROP000009.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=El%20cacao%20es%20una%20planta,cacao%20\(Theobroma%20cacao%20L.\)](http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/3358/E-UTB-FACIAG-ING%20AGROP000009.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=El%20cacao%20es%20una%20planta,cacao%20(Theobroma%20cacao%20L.))
- Zambrano, M. (09 de 14 de 2021). Proain. Importancia de los nutrientes esenciales en las plantas. Obtenido de <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/importancia-de-los-nutrientes-esenciales-en-las->



## 11. ANEXOS

### ANEXO 1. Evidencias fotográficas.

#### Aplicación de los tratamientos y medición de variables morfológicas.



**Figura 25.** Planta bajo sombra con malla sarán al 80%



**Figura 26.** Aplicación de fertilizante en corona



**Figura 27.** Medida de ancho de la hoja



**Figura 28.** Medición de diámetro de copa.



**Figura 29.** Poda de las plantas.

### **Medición de variables fisiológicas.**



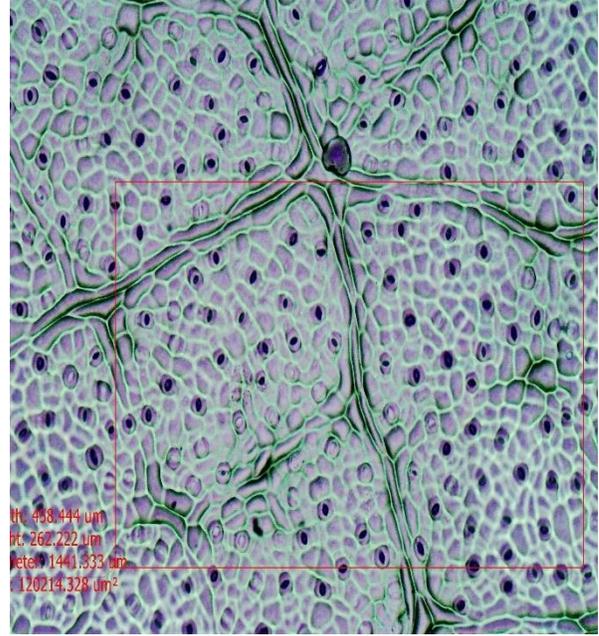
**Figura 30.** Observación de improntas en el microscopio.



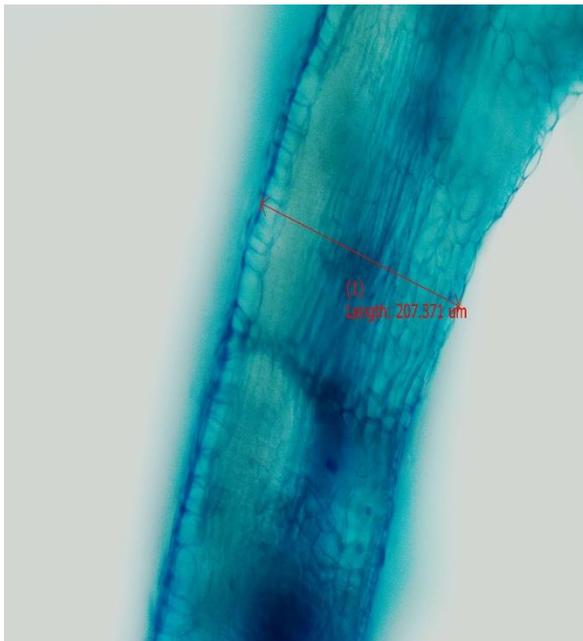
**Figura 31.** Tinción de cortes de hojas de cacao para ser observados en el microscopio



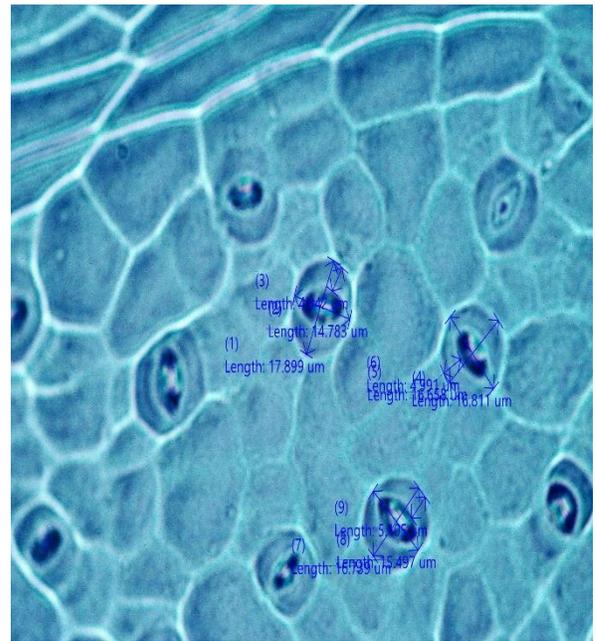
**Figura 32.** Observación y cuantificación de estomas con el programa Micro Cam Ver. 5.7



**Figura 33.** Determinación del área para el conteo de estomas y células epidérmicas. Vista de microscopio con alcance de 20X



**Figura 34.** Corte transversal para medición del grosor de lámina foliar  $\mu\text{m}$ , vista del microscopio con alcance de 20X



**Figura 35.** Medición de estomas (largo y ancho) y ancho de célula oclusiva vista del microscopio con alcance de 40X

## Anexo 2. Operalización de variables a medir.

| <b>Variable</b>                                  | <b>Definición</b>   | <b>Unidad de medida</b> | <b>Instrumento de medida</b>  | <b>Frecuencia</b>                                      |
|--|---|-------------------------|---|--|
| <b>Altura de planta</b>                          | Desde el cuello de la planta hasta el ápice más Alto  | cm                      | Cinta métrica   | Cada 20 días   |
| <b>Diámetro del tallo</b>                        | Se medirá el diámetro del tallo a una altura del 5 cm sobre el suelo  | mm                      | Calibrador digital  | Cada 20 días   |
| <b>Numero de hojas</b>                           | Las que alcancen el 50% del tamaño final.   | Numero                  |   | Cada 20 días   |
| <b>Área foliar</b>                               | Para lo cual se tomarán 20 hojas a las mismas mediremos el largo y ancho de las hojas.  | cm <sup>2</sup>         | Cinta métrica y luego con la ayuda de fotografía y software Photoshop | Cada 60 días   |
| <b>Área de la sección transversal del tronco</b> | Se medirá el perímetro del tronco a 5 cm desde el suelo, a partir del cual se calculará su área.  | cm <sup>2</sup>         | Cinta métrica   | Al inicio del ensayo a los tres meses y a los 5 meses. |
| <b>Longitud del brote.</b>                       | Selección de cuatro brotes por planta posicionadas el tercio medio de la altura de la planta, medir el crecimiento longitudinal de cada brote | cm                      | Cinta métrica   | Cada 20 días   |

|                                   |                                       |                                       |                          |                             |
|-----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| <b>Concentración de clorofila</b> |                                       | ml/g                                  | Espectrómetro            | Una vez al final de ensayo  |
| <b>Índice de área Foliar</b>      | Área foliar/superficie de Suelo       | adimensi onal                         |                          | Cada 20 días                |
| <b>Densidad estomática</b>        | Se aplicará la técnica de la impronta | Número de estomas por mm <sup>2</sup> | Microscopio OLYMPUS BX41 | Una vez al final del ensayo |

### ANEXO 3. Análisis de suelo previo a la fertilización.

MC-LASPA-2201-01

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

INFORME DE ENSAYO No: 21-0234

|  |   |
|--|---|
| <b>NOMBRE DEL CLIENTE:</b> Jimenez Jimenez Elias Joel<br><b>PETICIONARIO:</b> Jimenez Jimenez Elias Joel<br><b>EMPRESA/INSTITUCIÓN:</b> Jimenez Jimenez Elias Joel<br><b>DIRECCIÓN:</b> Esteban Godoy Loja | <b>FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:</b> 31/03/2021<br><b>HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:</b> 12:45<br><b>FECHA DE ANÁLISIS:</b> 05/04/2021<br><b>FECHA DE EMISIÓN:</b> 09/04/2021<br><b>ANÁLISIS SOLICITADO:</b> 54 + CIC |
|--|---|

| Análisis | PH   | N   | P   | S   | B   | K        | Ca       | Mg       | Zn   | Cu  | Fe  | Mn  | CaMg     | Mg/K | Ca+Mg/K | E Bases | MO   | CO.     | Textura (%) |    |    | Clase Textural | IDENTIFICACION   |              |
|----------|------|-----|-----|-----|-----|----------|----------|----------|------|-----|-----|-----|----------|------|---------|---------|------|---------|-------------|----|----|----------------|------------------|--------------|
|          |      | ppm | ppm | ppm | ppm | meq/100g | meq/100g | meq/100g | ppm  | ppm | ppm | ppm | meq/100g | %    | %       | Arena   | Limo | Arcilla |             |    |    |                |                  |              |
| 21-0903  | 3,42 | Ac  | 108 | 13  | 10  | 0,15     | 0,33     | 3,09     | 1,07 | 3,2 | 3,3 | 456 | 38,0     | 5,60 | 3,03    | 19,08   | 7,41 | 7,7     | A           | 37 | 34 | 29             | FRANCO ARCILLOSO | Elias Lote 1 |

| Análisis | AlH <sup>+</sup> | Al <sup>3+</sup> | Na <sup>+</sup> | C.E. * | N. Total <sup>1</sup> | N-NO3 <sup>3</sup> | K H2O <sup>2</sup> | P H2O <sup>2</sup> | Cl <sup>2</sup> |
|----------|------------------|------------------|-----------------|--------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| Unidad   | meq/100g         |                  | dS/m            | %      | ppm                   | ppm                | ppm                | ppm                |                 |
|          |                  |                  |                 |        |                       |                    |                    |                    |                 |

**OBSERVACIONES:**

\* Ensayos no solicitados por el cliente

| METODOLOGIA USADA            |                               |
|------------------------------|-------------------------------|
| pH = Suelo Agua (1:1)        | F K Ca Mg = Olen Modificado   |
| S.B = Fertilizante de Calcio | Cu Fe Mn Zn = Olen Modificado |
| S =                          | C = Curcuma                   |

| INTERPRETACION     |                    |           |
|--------------------|--------------------|-----------|
| pH                 | Elemento           |           |
| Ac = Acido         | N = Neutro         | B = Bajo  |
| LAc = Liger Acido  | LA = Lige Alcalino | M = Medio |
| PN = Proc. Neutro  | Al = Alcalino      | A = Alto  |
| RC = Requieren Cal | T = Toxico (Basi)  |           |

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

| METODOLOGIA USADA             |  |
|-------------------------------|--|
| S.E. = Punto Saturado         |  |
| M.O. = Dicroscopio de Petalio |  |
| NaK = Titulación NaOH         |  |

| INTERPRETACION        |                  |                 |           |
|-----------------------|------------------|-----------------|-----------|
| AlH <sup>+</sup> / Na | C.E.             |                 | M.O. y O  |
| B = Bajo              | NS = No Salino   | S = Salino      | B = Bajo  |
| M = Medio             | LS = Lige Salino | MS = Muy Salino | M = Medio |
| T = Toxico            |                  |                 | A = Alto  |

INFORME DE ENSAYO No: 21-0234

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

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

RESPONSABLES DEL INFORME

ANEXO 4. Resultados de las muestras de suelo enviadas al laboratorio.

|  |  | <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA</b><br><b>DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN</b><br><b>LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO</b><br><b>MATRIZ PARA ENTREGA DE RESULTADOS</b> |            |                  |                       |                          |  |  |
|---|--|--|------------|------------------|-----------------------|--------------------------|---|--|
| Código de ingreso   | LAQ-USA011   | Fecha de ingreso   | 12.04.2021 | Tipo de muestra  | Suelo tamizado y seco | Número Total de muestras | 87  |  |
| Lugar de procedencia de la muestra  | Quinta Experimental "El Padmi", Los Encuentros, Yanzatza   |  |            |                  | Tipo de muestreo      | Se desconoce             |   |  |
| Nombre del usuario  | Ing. Johnny Fernando Granja Travez   |  |            | CL               | 1713707279            |                          |   |  |
| Programa/proyecto   | Efecto de la radiación fotosintéticamente activa sobre cacao ( <i>Theobroma cacao</i> ) en la Región Sur del Ecuador y sus implicaciones agronómicas |  |            |                  |                       |                          |   |  |
| Técnico Responsable del Análisis  | Ing. Agro. Tania Sarango   |  |            | Fecha de entrega | 05.05.2021            |                          |   |  |

| N° | Nombre  | Tratamiento | Peso (g) | Resultados |            |
|----|---|-------------|----------|------------|------------|
|    |   |             |          | pH         | CE (uS/cm) |
| 1  | Manuel Cordero<br>Clon EETP-800<br>08-04-2021 | T1-P5-R1    | 20       | 6,20       | 618        |
| 2  |   | T1-P12-R2   | 20       | 5,25       | 500        |
| 3  |   | T1-P14-R3   | 20       | 5,24       | 621        |
| 4  |   | T1-P30-R4   | 20       | 4,99       | 480        |
| 5  |   | T2-P8-R1    | 20       | 4,85       | 1502       |
| 6  |   | T2-P23-R3   | 20       | 5,13       | 544        |
| 7  |   | T2-P27-R4   | 20       | 4,88       | 329        |
| 8  |   | T3-P1-R1    | 20       | 4,91       | 564        |
| 9  |   | T3-P19-R2   | 20       | 5,20       | 449        |
| 10 |   | T3-P31-R3   | 20       | 5,19       | 458        |
| 11 |   | T3-P32-R4   | 20       | 4,80       | 388        |
| 12 |   | T4-P9-R1    | 20       | 4,71       | 430        |
| 13 |   | T4-P16-R2   | 20       | 5,26       | 460        |
| 14 |   | T4-P17-R3   | 20       | 5,30       | 718        |
| 15 |   | T4-P25-R4   | 20       | 4,84       | 251        |

| N° | Nombre                       | Tratamiento | Peso (g) | Resultados |            |
|----|------------------------------|-------------|----------|------------|------------|
|    |                              |             |          | pH         | CE (uS/cm) |
| 1  | Manuel Cordero<br>01-05-2021 | T1P3R1      | 20       | 6,72       | 453        |
| 2  |                              | T1P14R3     | 20       | 5,49       | 390        |
| 3  |                              | T1P28R4     | 20       | 5,27       | 278        |
| 4  |                              | T2P8R1      | 20       | 4,75       | 1939       |
| 5  |                              | T2P21R3     | 20       | 5,11       | 606        |
| 6  |                              | T2P25R4     | 20       | 5,31       | 334        |
| 7  |                              | T3P1R1      | 20       | 5,38       | 303        |
| 8  |                              | T3P19R2     | 20       | 5,23       | 410        |
| 9  |                              | T3P29R3     | 20       | 5,32       | 306        |
| 10 |                              | T3P30R4     | 20       | 5,05       | 172        |
| 11 |                              | T4P9R1      | 20       | 5,22       | 201        |
| 12 |                              | T4P16R2     | 20       | 5,31       | 403        |
| 13 |                              | T4P17R3     | 20       | 5,08       | 639        |
| 14 |                              | T4P23R4     | 20       | 5,33       | 507        |

| N° | Nombre                       | Tratamiento | Peso (g) | Resultados |            |
|----|------------------------------|-------------|----------|------------|------------|
|    |                              |             |          | pH         | CE (uS/cm) |
| 1  | Manuel Cordero<br>21-05-2021 | T1P5R1      | 20       | 7,00       | 1556       |
| 2  |                              | T1P12R2     | 20       | 5,53       | 518        |
| 3  |                              | T1P14R3     | 20       | 5,57       | 585        |
| 4  |                              | T1P28R4     | 20       | 5,21       | 815        |
| 5  |                              | T2P8R1      | 20       | 5,12       | 940        |
| 6  |                              | T2P21R3     | 20       | 4,84       | 232        |
| 7  |                              | T2P25R4     | 20       | 4,85       | 1142       |
| 8  |                              | T3P1R1      | 20       | 5,25       | 1173       |
| 9  |                              | T3P19R2     | 20       | 5,32       | 533        |
| 10 |                              | T3P29R3     | 20       | 5,43       | 334        |
| 11 |                              | T3P30R4     | 20       | 4,92       | 504        |
| 12 |                              | T4P9R1      | 20       | 4,80       | 1621       |
| 13 |                              | T4P16R2     | 20       | 5,33       | 1137       |
| 14 |                              | T4P17R3     | 20       | 5,00       | 1107       |
| 15 |                              | T4P23R4     | 20       | 5,55       | 307        |

| N° | Nombre                       | Tratamiento | Peso (g) | Resultados |            |
|----|------------------------------|-------------|----------|------------|------------|
|    |                              |             |          | pH         | CE (uS/cm) |
| 1  | Manuel Cordero<br>11-06-2021 | T1P5R1      | 20       | 6,57       | 620        |
| 2  |                              | T1P12R2     | 20       | 5,64       | 599        |
| 3  |                              | T1P14R3     | 20       | 5,21       | 425        |
| 4  |                              | T1P28R4     | 20       | 5,32       | 386        |
| 5  |                              | T2P8R1      | 20       | 5,20       | 352        |
| 6  |                              | T2P21R3     | 20       | 5,06       | 381        |
| 7  |                              | T2P25R4     | 20       | 4,92       | 430        |
| 8  |                              | T3P1R1      | 20       | 5,23       | 305        |
| 9  |                              | T3P19R2     | 20       | 5,25       | 462        |
| 10 |                              | T3P29R3     | 20       | 5,24       | 513        |
| 11 |                              | T3P30R4     | 20       | 4,78       | 383        |
| 12 |                              | T4P9R1      | 20       | 4,82       | 454        |
| 13 |                              | T4P16R2     | 20       | 5,11       | 960        |
| 14 |                              | T4P17R3     | 20       | 5,75       | 327        |
| 15 |                              | T4P23R4     | 20       | 5,35       | 411        |

| N° | Nombre                    | Tratamiento | Peso (g) | Resultados |            |
|----|---------------------------|-------------|----------|------------|------------|
|    |                           |             |          | pH         | CE (uS/cm) |
| 1  | Manuel Cordero 02-07-2021 | T1P5R1      | 20       | 5,95       | 933        |
| 2  |                           | T1P12R2     | 20       | 5,52       | 369        |
| 3  |                           | T1P14R3     | 20       | 5,75       | 516        |
| 4  |                           | T1P28R4     | 20       | 5,46       | 423        |
| 5  |                           | T2P8R1      | 20       | 4,84       | 735        |
| 6  |                           | T2P21R3     | 20       | 5,31       | 485        |
| 7  |                           | T2P25R4     | 20       | 4,91       | 1819       |
| 8  |                           | T3P1R1      | 20       | 5,27       | 534        |
| 9  |                           | T3P19R2     | 20       | 5,24       | 463        |
| 10 |                           | T3P29R3     | 20       | 5,44       | 333        |
| 11 |                           | T3P30R4     | 20       | 5,01       | 275        |
| 12 |                           | T4P9R1      | 20       | 4,72       | 732        |
| 13 |                           | T4P16R2     | 20       | 5,83       | 426        |
| 14 |                           | T4P17R3     | 20       | 5,46       | 657        |
| 15 |                           | T4P23R4     | 20       | 5,17       | 1969       |

| N° | Nombre                    | Tratamiento | Peso (g) | Resultados |            |
|----|---------------------------|-------------|----------|------------|------------|
|    |                           |             |          | pH         | CE (uS/cm) |
| 1  | Manuel Cordero 02-07-2021 | T1P5R1      | 20       | 6,91       | 453        |
| 2  |                           | T1P12R2     | 20       | 5,51       | 268        |
| 3  |                           | T1P14R3     | 20       | 5,52       | 320        |
| 4  |                           | T1P28R4     | 20       | 5,57       | 304        |
| 5  |                           | T2P8R1      | 20       | 4,84       | 1250       |
| 6  |                           | T2P21R3     | 20       | 4,98       | 1160       |
| 7  |                           | T2P25R4     | 20       | 4,82       | 1209       |
| 8  |                           | T3P1R1      | 20       | 5,47       | 547        |
| 9  |                           | T3P19R2     | 20       | 5,50       | 272        |
| 10 |                           | T3P29R3     | 20       | 5,35       | 824        |
| 11 |                           | T3P30R4     | 20       | 5,21       | 137,5      |
| 12 |                           | T4P9R1      | 20       | 4,76       | 1251       |
| 13 |                           | T4P17R3     | 20       | 5,10       | 967        |
| 14 |                           | T4P23R4     | 20       | 4,65       | 998        |

| N° | Nombre                          | Tratamiento | Peso (g) | Resultados |            |
|----|---------------------------------|-------------|----------|------------|------------|
|    |                                 |             |          | pH         | CE (uS/cm) |
| 1  | Manuel Cordero 23 de julio 2021 | T1P5R1      | 20       | 5,87       | 484        |
| 2  |                                 | T1P12R2     | 20       | 5,10       | 833        |
| 3  |                                 | T1P14R3     | 20       | 5,18       | 1500       |
| 4  |                                 | T1P28R4     | 20       | 5,13       | 1502       |
| 5  |                                 | T2P8R1      | 20       | 4,65       | 824        |
| 6  |                                 | T2P21R3     | 20       | 4,91       | 860        |
| 7  |                                 | T2P25R4     | 20       | 4,93       | 1881       |
| 8  |                                 | T3P1R1      | 20       | 5,32       | 438        |
| 9  |                                 | T3P19R2     | 20       | 4,86       | 734        |
| 10 |                                 | T3P29R3     | 20       | 4,98       | 843        |
| 11 |                                 | T3P30R4     | 20       | 4,74       | 253        |
| 12 |                                 | T4P9R1      | 20       | 4,50       | 1161       |
| 13 |                                 | T4P16R2     | 20       | 5,11       | 1690       |
| 14 |                                 | T4P17R3     | 20       | 5,20       | 730        |
| 15 |                                 | T4P23R4     | 20       | 5,06       | 980        |

| N° | Nombre         | Tratamiento | Peso (g) | Resultados |            |
|----|----------------|-------------|----------|------------|------------|
|    |                |             |          | pH         | CE (uS/cm) |
| 1  | Manuel Cordero | T1P5R1      | 20       | 6,22       | 436        |
| 2  |                | T1P12R2     | 20       | 5,37       | 380        |
| 3  |                | T1P14R3     | 20       | 5,39       | 558        |
| 4  |                | T1P28R4     | 20       | 5,19       | 434        |
| 5  |                | T2P8R1      | 20       | 5,18       | 1708       |
| 6  |                | T2P21R3     | 20       | 5,20       | 1058       |
| 7  |                | T2P25R4     | 20       | 5,27       | 491        |
| 8  |                | T3P1R1      | 20       | 5,39       | 355        |
| 9  |                | T3P19R2     | 20       | 5,20       | 416        |
| 10 |                | T3P29R3     | 20       | 5,23       | 306        |
| 11 |                | T3P30R4     | 20       | 4,91       | 254        |
| 12 |                | T4P9R1      | 20       | 4,49       | 402        |
| 13 |                | T4P16R2     | 20       | 5,53       | 680        |
| 14 |                | T4P17R3     | 20       | 5,17       | 282        |
| 15 |                | T4P23R4     |          | 4,59       | 463        |

| N° | Nombre         | Tratamiento | Peso (g) | Resultados |            |
|----|----------------|-------------|----------|------------|------------|
|    |                |             |          | pH         | CE (uS/cm) |
| 1  | Manuel Cordero | T1P5R1      | 20       | 6,25       | 297        |
| 2  |                | T1P12R2     | 20       | 5,11       | 205        |
| 3  |                | T1P14R3     | 20       | 5,18       | 315        |
| 4  |                | T1P28R4     | 20       | 5,38       | 247        |
| 5  |                | T2P8R1      | 20       | 4,62       | 326        |
| 6  |                | T2P21R3     | 20       | 4,93       | 276        |
| 7  |                | T2P25R4     | 20       | 4,61       | 344        |
| 8  |                | T3P1R1      | 20       | 5,27       | 241        |
| 9  |                | T3P19R2     | 20       | 5,25       | 331        |
| 10 |                | T3P29R3     | 20       | 5,21       | 259        |
| 11 |                | T3P30R4     | 20       | 4,72       | 194,5      |
| 12 |                | T4P9R1      | 20       | 4,23       | 1389       |
| 13 |                | T4P16R2     | 20       | 4,76       | 229        |
| 14 |                | T4P17R3     | 20       | 5,02       | 475        |
| 15 |                | T4P23R4     | 20       | 5,32       | 887        |


 Firmado electrónicamente por:  
**TANIA YASMIN SARANGO ACARO**  
 Tania Sarango Acaro  
**Técnico Responsable**

---

**Correo electrónico:** laboratorio. quimico@unl.edu.ec  
**Tel.:** 2547878

Página 2

ANEXO 5. Resultados del contenido de clorofila de muestras de hojas.

|   |  |  |            |                         |                         |                                 |    |
|---|--|--|------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------|----|
|   |  | <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA</b><br><b>DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN</b><br><b>LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO</b><br><b>MATRIZ PARA ENTREGA DE RESULTADOS</b> |            |                         |                         |                                 |    |
| <b>Código de ingreso</b>  | LAQ-UB004  | <b>Fecha de ingreso</b>  | 27.09.2021 | <b>Tipo de muestra</b>  | Hojas frescas de cacao  | <b>Número Total de muestras</b> | 81 |
| <b>Lugar de procedencia de la muestra</b>   |  | Quinta Experimental "El Padmi", Los Encuentros, Yanatza  |            |                         | <b>Tipo de muestreo</b> | Se desconoce                    |    |
| <b>Nombre del usuario</b>   | Ing. Johnny Fernando Granja Travez   |  |            | <b>CI.</b>              | 1713707279              |                                 |    |
| <b>Programa/proyecto</b>  | Efecto de la radiación fotosintéticamente activa sobre cacao ( <i>Theobroma cacao</i> ) en la Región Sur del Ecuador y sus implicaciones agronómicas |  |            |                         |                         |                                 |    |
| <b>Técnico Responsable del Análisis</b>   | Ing. Agro. Tania Sarango   |  |            | <b>Fecha de entrega</b> | 06.10.2021              |                                 |    |
| <p>*Los datos de clorofila fueron medidos espectrofotómetro UV Hach DR 2000<br/>         Fórmulas utilizadas: Volumen de extracto 10 ml, peso de hoja 1 g.</p> $C_a \left( \frac{\mu g}{mg} \right) = [(12.7 \times A_{663}) - (2.49 \times A_{645})] \times \frac{\text{volumen del extracto ml}}{\text{peso de la hoja gr}}$ $C_b \left( \frac{\mu g}{mg} \right) = [(22.9 \times A_{645}) - (4.68 \times A_{663})] \times \frac{\text{volumen del extracto ml}}{\text{peso de la hoja gr}}$ $C_{\text{total}} \left( \frac{\mu g}{mg} \right) = [(20.2 \times A_{645}) + (8.02 \times A_{663})] \times \frac{\text{volumen del extracto ml}}{\text{peso de la hoja gr}}$ |  |  |            |                         |                         |                                 |    |

| N° | Tesista        | Tratamiento | Absorbancia |          | Ca    | Cb    | C Total |
|----|----------------|-------------|-------------|----------|-------|-------|---------|
|    |                |             | Long 663    | Long 645 |       |       |         |
| 37 | Manuel Cordero | P5T1R1      | 0,191       | 0,078    | 22,16 | 8,92  | 31,07   |
| 38 |                | P27T1R2     | 0,286       | 0,134    | 32,72 | 17,30 | 50,01   |
| 39 |                | P14T1R3     | 0,244       | 0,103    | 28,22 | 12,17 | 40,37   |
| 40 |                | P6T2R1      | 0,179       | 0,082    | 20,53 | 10,40 | 30,92   |
| 41 |                | P26T2R2     | 0,148       | 0,065    | 17,05 | 7,96  | 25,00   |
| 42 |                | P21T2R3     | 0,213       | 0,089    | 24,66 | 10,41 | 35,06   |
| 43 |                | P1T3R1      | 0,354       | 0,148    | 40,98 | 17,32 | 58,29   |
| 44 |                | P29T3R2     | 0,297       | 0,138    | 34,01 | 17,70 | 51,70   |
| 45 |                | P19T3R3     | 0,209       | 0,093    | 24,04 | 11,52 | 35,55   |
| 46 |                | P10T4R1     | 0,301       | 0,136    | 34,57 | 17,06 | 51,61   |
| 47 |                | P22T4R2     | 0,268       | 0,118    | 30,86 | 14,48 | 45,33   |
| 48 |                | P17T4R3     | 0,098       | 0,046    | 11,21 | 5,95  | 17,15   |

Ing. Agro. Tania Sarango Acaro  
Técnico Responsable



Firmado electrónicamente por:  
**TANIA YASMIN SARANGO ACARO**

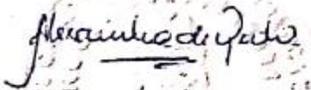
ANEXO 6. Certificación de traducción del Abstract.

**ABSTRACT.**

The cultivation of cocoa (*Theobroma cacao* L.), is very important in Ecuador, it is one of the main export products and one of its economic and social sources generating important foreign exchange. Fertilization in cocoa is of great importance because the recommended doses of nutrient application vary by more than ten times, without knowing the type of soil, affecting its performance. Shade helps protect cocoa plants from exposure to too much sun, improves environmental conditions in these areas, and produces a higher content of organic matter in the soil, helping the crop. The objective of this study was to evaluate the response of two levels of shade and fertilization on morphological and physiological variables in clone "EETP 800". The trial was conducted at the Experimental Farm "El Padmi" of the National University of Loja, under a completely randomized experimental design (CRD) with a bifactorial arrangement, considering a total of 4 treatments and 3 replications. At the morphological level, the following variables were evaluated every 20 days: plant height, shoot length, absolute growth rate (AGR), relative growth rate (RGR), crown diameter, leaf area, leaf area index and area of the trunk cross section (ASTT). The physiological variables evaluated were: chlorophyll A, B and total chlorophyll concentration, stomatal density, stomatal index, leaf anatomical structure, pH and soil electrical conductivity (EC). For most of the variables evaluated, there was no interaction between the factors shade and fertilization, except for shoot length, which was significantly influenced by the shade factor ( $p < 0.05$ ), and electrical conductivity, which was significant ( $p < 0.05$ ) in the treatments with fertilization. In leaf area, plants with 80% shade reached an average of: 52401.80 cm<sup>2</sup>. The highest chlorophyll concentration and stomatal density was recorded in plants under 80% shade with means of 48.51 ml g<sup>-1</sup> and 924.58 stomata mm<sup>2</sup>. The results of this work show us the importance of shade in early stages of the crop, which is why it is necessary to continue with the research.

**Key words:** *Theobroma cacao* L., fertilization, shade, structure, performance.

Yo, Alexandra Zúñiga Ojeda, por la presente certifico que traduje el documento adjunto del idioma inglés al español y que, es una traducción correcta de acuerdo a los documentos originales. Así lo certifico, en base a la formación de grado y posgrado en la Enseñanza del Inglés como lengua extranjera.



Mgs. Alexandra Zúñiga Ojeda  
Directora Académica de CADIL English Center  
Registros SENESCYT: 1031-07-785803 1031-11-725056