



Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

### Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

#### Carrera de Ingeniería Agronómica

### Evaluación de tres niveles de sombra sobre la fase productiva de cacao (*Theobroma cacao* L) clon EETP 801 en la estación experimental El Padmi provincia de Zamora Chinchipe

Trabajo de Titulación, previo a la  
obtención del título de Ingeniero  
Agrónomo

#### AUTOR:

Anderson Fernando Cumbicos Sarango

#### DIRECTOR:

Ing. Mirian Irene Capa Morocho PhD.

Loja – Ecuador

2024

Educamos para **Transformar**

## Certificación

Loja, 4 de septiembre del 2023

Ing. Mirian Irene Capa Morocho PhD.

**DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACION**

### **C E R T I F I C O:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Evaluación de tres niveles de sombra sobre la fase productiva de cacao (*Theobroma cacao* L) clon EETP 801 en la estación experimental El Padmi provincia de Zamora Chinchipe**, previo a la obtención del título **Ingeniero Agrónomo**, de la autoría del estudiante **Anderson Fernando Cumbicos Sarango**, con **cédula de identidad Nro.1900692508**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Mirian Irene Capa Morocho PhD.

**DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACION**

## **Autoría**

Yo, **Anderson Fernando Cumbicos Sarango**, declaro ser el autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mí del Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**



**Cédula de identidad:** 1900692508

**Fecha:** 2 de febrero del 2024

**Correo electrónico:** anderson.cumbicos@unl.edu.ec

**Teléfono:** +593 967832074

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

Yo, **Anderson Fernando Cumbicos Sarango**, declaro ser el autor del Trabajo de Titulación denominado: **Evaluación de tres niveles de sombra sobre la fase productiva de cacao (*Theobroma cacao* L) clon EETP 801 en la estación experimental El Padmi provincia de 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 en el Repositorio Institucional.

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

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

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los dos días del mes de febrero de dos mil veinticuatro.

**Firma:**



**Autor:** Anderson Fernando Cumbicos Sarango

**Cédula:** 1900692508

**Dirección:** Calle Arca de Noe entre Abraham y Monte Sinaí - Daniel Álvarez - Loja

**Correo electrónico:** anderson.cumbicos@unl.edu.ec

**Teléfono:** +593 967832074

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Directora del Trabajo de Titulación:** Ing. Mirian Irene Capa Morocho PhD.

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a mis padres Braulio Cumbicos y Melida Sarango, por brindarme su apoyo incondicional y enseñarme que la determinación y el sacrificio son las puertas del éxito. Del mismo modo a mi familia por haberme apoyado cuando más lo necesitaba.

A todos ustedes mi profundo amor y respeto por compartir conmigo y ser parte de este camino.

*Anderson Fernando Cumbicos Sarango*

## **Agradecimiento**

Mi agradecimiento profundo a la Universidad Nacional de Loja, a la Carrera de Ingeniería Agronómica. De igual forma mi agradecimiento muy sincero a mi director del Trabajo de Titulación Ing. Mirian Irene Capa Morocho PhD, quien con su valiosa experiencia supo guiar el presente trabajo, hasta su culminación.

A todos los profesores de la Carrera de Ingeniería Agronómica, quien con su experiencia inculcaron en mi persona diferentes puntos de vista y cosmovisión para superar las adversidades y toma de decisiones que presenta la vida.

Así mismo, al Ling. Iouri Alexeevich Kossatchev e Ing. María Emilia Garcés por enseñarme los idiomas ruso y japonés, y más aún por ser la luz en la tempestad durante los momentos más críticos por los que pasó mi convicción y anhelo.

*Anderson Fernando Cumbicos Sarango*

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>vii</b>
<b>Índice de tablas</b> .....	<b>ix</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>x</b>
<b>Índice de anexos</b> .....	<b>vii</b>
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
Abstract .....	3
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
3.1. Objetivo general.....	6
3.2. Objetivos específicos .....	6
<b>4. Marco teórico</b> .....	<b>7</b>
4.1. Cacao ( <i>Theobroma cacao</i> L.) .....	7
4.2. Grupos genéticos de cacao en Ecuador .....	7
4.3. Condiciones edafoclimáticas .....	7
4.4. Ciclo productivo del cacao .....	8
4.5. Ciclo fenológico del cacao .....	8
4.6. Agrotecnia del cultivo .....	9
4.7. Clones de cacao en la Estación Experimental Tropical Pichilingue de INIAP.....	10
4.8. Clon EETP 801 .....	10
4.9. Radiación fotosintéticamente activa (PAR) en el cacaotal .....	11
4.10. La sombra temporal y permanente en la plantación .....	11
<b>5. Metodología</b> .....	<b>13</b>
5.1. Ubicación del área de estudio .....	13
5.2. Tipo de Investigación .....	13
5.3. Alcance de la investigación .....	14
5.4. Material vegetal y establecimiento del ensayo .....	14
5.5. Diseño experimental.....	14
5.6. Análisis estadístico.....	15

5.7. Metodología para los Objetivos.....	15
5.7.1. Metodología para el primer objetivo.....	15
5.7.2. Metodología para el segundo objetivo .....	16
<b>6. Resultados .....</b>	<b>19</b>
6.1. Variables morfológicas y productivas de fruto y semilla.....	19
6.2. Variables productivas de la planta .....	19
6.3. Radiación PAR .....	20
6.4. Variables fisiológicas y de crecimiento del cacao .....	21
6.5. Composición química de la semilla y mucílago .....	22
<b>7. Discusión .....</b>	<b>24</b>
<b>8. Conclusiones.....</b>	<b>27</b>
<b>9. Recomendaciones.....</b>	<b>28</b>
<b>10. Bibliografía.....</b>	<b>29</b>
<b>11. Anexos .....</b>	<b>36</b>

## Índice de tablas:

**Tabla 1.** Efecto de diferentes niveles de sombra en cacao sobre características morfológicas productivas de fruto y semillas (g) 163 días después de aplicación del tratamiento (DDT). ...**19**

**Tabla 2.** Cantidad y peso (kg) de variables productivas en cacao bajo diferentes niveles de sombra 163 días después de aplicación del tratamiento (DDT).....**19**

**Tabla 3.** Cantidad y peso (kg) de variables fisio productivas de cacao bajo diferentes niveles de sombra 126 días después de aplicación del tratamiento (DDT). .....**22**

## Índice de figuras:

<b>Figura 1.</b> Fenología del cultivo del cacao.....	<b>9</b>
<b>Figura 2.</b> Localización del área de estudio (Estación Experimental El Padmi - UNL).....	<b>13</b>
<b>Figura 3.</b> Esquema de campo que muestra cómo se distribuyeron las unidades experimentales en terreno. ....	<b>15</b>
<b>Figura 4.</b> Rendimiento estimado de cacao EETP801 bajo diferentes niveles de sombra, calculado en kg por hectárea. ....	<b>20</b>
<b>Figura 5.</b> Radiación fotosintéticamente activa (PAR) expresada en $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , muestreada en diferentes horas en un día de intenso sol, bajo diferentes niveles de sombra. ....	<b>21</b>
<b>Figura 6.</b> Evolución del índice de área foliar en plantas en un cultivo de cacao EETP 801 bajo diferentes porcentajes de sombra durante 126 días después del tratamiento.....	<b>22</b>
<b>Figura 7.</b> Contenido porcentual de humedad (H), ceniza (Cz), extracto etéreo (EE) y proteína cruda (PC) de la almendra seca de cacao clon EETP 801 bajo diferentes porcentajes de sombra. ....	<b>23</b>
<b>Figura 8.</b> Nivel pH, acidez titulable para cítrico (TT) y concentración Brix ( $^{\circ}\text{Bx}$ ) del mucílago tal como ofrecido en muestra proveniente de un cultivo de cacao clon EETP 801 bajo diferentes porcentajes de sombra.....	<b>23</b>

**Índice de anexos:**

<b>Anexo 1.</b> Análisis de suelos del terreno experimental en El Padmi.....	<b>36</b>
<b>Anexo 2.</b> Análisis de varianza ANOVA, diferencia de medias y prueba de Tukey para las variables. ....	<b>37</b>
<b>Anexo 3.</b> Evidencia fotográfica .....	<b>46</b>
<b>Anexo 4.</b> Certificado de traducción del resumen.....	<b>50</b>

## **1. Título**

**Evaluación de tres niveles de sombra sobre la fase productiva de cacao (*Theobroma cacao* L) clon EETP 801 en la estación experimental El Padmi, provincia de Zamora Chinchipe**

## 2. Resumen

En la presente investigación se evalúa el comportamiento de las características productivas y rendimiento del cacaotal, con y en ausencia de sombra bajo condiciones de suelo y clima de la estación experimental El Padmi, provincia de Zamora Chinchipe, con el objetivo de encontrar el nivel de factor sombra ideal para el Clon EETP 801 creado por INIAP – Ecuador. En campo se estableció un diseño completamente al azar (DCA), con tres tratamientos correspondientes a los niveles de sombra T1:0 %, T2:35 %, T3:80 % con seis repeticiones cada una, la unidad experimental (UE) estuvo constituida por un árbol, con un total de 18 unidades experimentales. Las variables de crecimiento y de rendimiento fueron peso y número total de frutos y semillas del cacao fresco (en baba) y seco, índice de área foliar (IAF), diámetro de copa, clorofila, producción, rendimiento, humedad, ceniza, grasa y proteína. El efecto de los tratamientos sobre las variables dependientes se evaluó mediante análisis de varianza (ANOVA) y test de medias (Tukey) ( $p$  - valor  $> 0,05$ ) donde se diferenció el rendimiento de T2 35 % con 1 573,11 kg/ha en almendra fresca y 617,91 kg/ha en almendra seca; siendo superior a los demás tratamientos T1 0% con 858,85 kg/ha y 316,62 kg/ha; y T3 con 290,31 kg/ha y 128,77 kg/ha; en el resto de variables estudiadas no se encontraron diferencias significativas, evidenciando que en el cacaotal un nivel moderado de sombra al 35 % influye positivamente sobre el rendimiento, mientras que la sombra excesiva reduce el rendimiento; finalmente si esta no se aplica, el rendimiento será levemente mayor que el de la sombra excesiva, pero menor al de uno con sombra parcial o moderada. La actividad fotosintéticamente activa (PAR) referencial disponible para la planta en un día soleado en la zona de ensayo, se ubicó en un rango de 222,22 a 1 571,9  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , siendo las 12h00 hasta las 16h00 el intervalo de tiempo con más PAR disponibles. Esta investigación se alinea con los ODS de las Naciones Unidas (2015), principalmente con el punto 12 «Producción y consumo responsables» principalmente debido a que el cacao no es un producto de primera necesidad, siendo su uso principal como materia prima para la industria.

**Palabras clave:** *Theobroma cacao L., niveles de sombra, producción, rendimiento*

## **Abstract**

In the present research, the behavior of the productive characteristics and yield of cocoa is evaluated, with and in the absence of shade under soil and climate conditions of the experimental station El Padmi, province of Zamora Chinchipe, in order to find the ideal shade factor level for the Clone EETP 801 created by INIAP – Ecuador. A completely random design (DCA) was established in the field, with three treatments corresponding to the shade levels T1:0 %, T2:35 %, T3:80 % with six repetitions each, the experimental unit (UE) was constituted by a tree, with a total of 18 experimental units. The growth and yield variables were weight and total number of fresh (in slime) and dried cocoa fruits and seeds, leaf area index (FAI), crown diameter, chlorophyll, production, yield, moisture, ash, fat and protein. The effect of the treatments on the dependent variables was evaluated by analysis of variance (ANOVA) and means test (Tukey) ( $p$  - value  $> 0.05$ ) where the yield of T2 was differentiated 35 % with 1 573.11 kg/ha in fresh almond and 617.91 kg/ha in dry almond; being superior to the other treatments T1 0 % with 858.85 kg/ha and 316.62 kg/ha; and T3 with 290.31 kg/ha and 128.77 kg/ha; in the rest of the variables studied, no significant differences were found, evidencing that in cocoa a moderate level of shade at 35 % positively influences the yield, while excessive shade reduces the yield; finally, if this is not applied, the yield will be slightly higher than that of excessive shade, but less than that of one with partial or moderate shade. The reference photosynthetically active activity (PAR) available for the plant on a sunny day in the test zone, was located in a range of 222.22 to 1 571.9  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , being the 12h00 to 16h00 the time interval with more PAR available. This research is aligned with the United Nations SDGs (2015), mainly with point 12 "Responsible production and consumption" mainly because cocoa is not a staple product, being its main use as a raw material for the industry.

***Keywords:*** *Theobroma cacao L., shade levels, production, yield*

### 3. Introducción

El Sistema de Información Pública Agropecuaria (SIPA) alude que durante los meses enero - marzo del año 2022 el mundo exportó 105 115 toneladas de cacao, valorándose en total 275 037 896 USD, siendo la presentación en grano seco la más solicitada (BCE Banco Central del Ecuador, 2022). Los cultivos de banano, café y cacao en 2019 en conjunto representaron el 1,98 % de participación sobre el PIB total para el país Ecuador (BCE & CFN, 2021).

Según la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2021, la superficie plantada de cacao a nivel nacional el año 2021 fue de 626 962 hectáreas, concentrándose la producción en la provincia de Los Ríos con el 27,70 %. Las provincias tropicales amazónicas como Zamora Chinchipe presentan un auge del sector cacaotero (Loor et al., 2018), contando con 1 271 ha de superficie plantada, con rendimientos de 0,26 t/ha y aspiran a incrementar estas cifras a futuro (INEC & SIPA, 2022).

En la Amazonía ecuatoriana la actividad cacaotera generalmente es de subsistencia y contempla superar adversidades que incluyen condiciones ambientales cambiantes, falta de tecnificación de riego y mucha mano de obra para optimizar la cosecha (Vassallo, 2015).

Como planta umbrófila el cacao necesita sombra durante su crecimiento y desarrollo inicial, misma que experimenta un proceso de aclimatación al incremento de radiación solar (Agudelo et al., 2018), altas temperaturas y corrientes fuertes de viento en la fase de establecimiento; si el daño por luz provoca quemadura y estrés foliar, estos se reflejarán en defoliación (Alarcón et al., 2012).

Investigaciones realizadas en Brasil indicaron que, removiendo parcialmente la sombra la producción aumenta un 50 a 100 %, considerando que el número ideal de árboles por hectárea debía ser de 25 a 35 durante los años 1968 y 1972 (Martínez & Enríquez, 1986). En países como Ghana se informó que, a plena exposición, los árboles de cacao, luego de algunos años de buena producción, comienzan a declinar. No se conoce mucho sobre su efecto más allá de unos 25 años, pero a este tiempo aún era más rentable esta forma de cultivo que aquella con poca sombra y fertilización, aunque sus valores se habían aproximado mucho (Enríquez, 1986). Además, se presume que el correcto sombreado en conjunto con enmiendas del suelo, puede generar tolerancia a factores físico-químicos y biológicos que estresan a la planta, rigiéndose a la teoría de la trofobiosis, pudiendo sumar beneficios tanto en calidad como rendimiento de mazorca (Alarcón et al., 2012).

Ante todo lo expuesto se puede inferir que la eliminación completa de la sombra al comienzo de la fase productiva en cacaotales establecidos por semilla o injerto, lleva consigo un rápido incremento del rendimiento, pero que pronto se deteriora la plantación con la muerte regresiva por estrés ambiental, defoliación, los insectos y enfermedades que atacan al tener una planta decaída, finalizando con la muerte de la misma. De aquí, se genera la necesidad de ahondar en la investigación de un porcentaje del factor sombra ideal o promedio, para evaluar variedades o clones nuevos de cacao en territorio, como lo es el Clon EETP 801 creado por INIAP - Ecuador y así conocer los efectos que reflejen respecto a rendimiento en ambiente tropical amazónico.

La necesidad de investigar este clon de cacao se orienta a la siguiente pregunta: **¿Qué porcentaje de sombra es el más óptimo en el clon de cacao EETP 801 establecido para generar el mayor rendimiento en la región amazónica del sur del Ecuador?**

Hipótesis aparente: La ausencia parcial o total de sombra aumenta la productividad en plantas de cacao clon EETP 801 en el sur de la Amazonía ecuatoriana.

Hipótesis nula: El manejo con sombra en diferentes intensidades no influye sobre una mayor o menor producción en las plantas de cacao EETP 801 en el sur de la Amazonía ecuatoriana.

La presente investigación contribuirá concretamente a entender la influencia de sombra en el rendimiento en cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP 801, bajo las características de suelo y medioambientales propias de la Región sur oriental del Ecuador. Este clon de cacao es novedoso y genera la atracción por sus bondades y semejanza con las condiciones edafoclimáticas del sur de la Amazonía ecuatoriana, por su alta producción (2,4 a 3 t/ha/año de cacao seco) y resistencia a plagas y enfermedades (*Monilla pernicioso*, *Mollioptera roreri* y *Ceratocystis fimbriata*) (Loor et al., 2018). Además, la investigación ahondará en el descubrimiento de información que complemente o refute los estándares de sombreamiento habituales y su relación con la producción, como lo es el autosombreamiento. Esto permite crear un microclima interno al dosel de las plantas y hace que se pueda retirar la sombra colocada al inicio del cultivo, y que en dicha etapa la radiación solar en la parte superior de los árboles puede llegar a superar los 2 000  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}$  de fotones, un valor que bajo otras circunstancias puede producir saturación lumínica en las hojas. Es posible entonces que la parte superior del dosel se comporte como un modelo fotosintético C4 al no presentar punto de saturación perceptible de luz, mientras que, la parte baja se comporte como C3, tal y como se

reporta en café (Castillo et al., 1997; Jaramillo et al., 1992), por lo que aportar información nueva es crucial para seguir innovando en el ámbito cacaotero.

De acuerdo con los ODS de las Naciones Unidas (2015) el proyecto se alinea con varios puntos, principalmente con el que hace referencia al punto 12 «Producción y consumo responsables» principalmente debido a que el cacao no es un producto de primera necesidad, siendo su uso principal como materia prima para la industria. Se resalta que la investigación a realizar forma parte del proyecto denominado: Comportamiento del cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo diferentes condiciones de luminosidad en etapa inicial de producción en la Región sur del Ecuador, financiado por la UNL a través de la Dirección de Investigación.

### **3.1. Objetivo general**

Evaluar el efecto de sombra sobre variables de rendimiento productivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP 801, en la estación experimental El Padmi, provincia de Zamora Chinchipe.

### **3.2. Objetivos específicos**

- Determinar el efecto de las diferentes intensidades de luminosidad sobre las variables de rendimiento del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP 801.
- Identificar la intensidad de luminosidad que usa el cacao EETP 801 en términos de radiación PAR.

## **4. Marco teórico**

### **4.1. Cacao (*Theobroma cacao* L.)**

Según la real academia española (RAE, 2014), el cacao es un árbol de América, de la familia de las esterculiáceas (Malvaceas), de tronco liso de cinco a ocho metros de altura, hojas alternas, lustrosas, lisas, duras y aovadas, flores pequeñas, amarillas y encarnadas, cuyo fruto se emplea como principal ingrediente del chocolate. Se conocen más de 20 especies dentro del género *Theobroma*. Entre estos, *T. cacao* es la única especie que se cultiva extensivamente, se originó en la cuenca amazónica (Motamayor et al., 2002), y actualmente se cultiva en muchas regiones del trópico húmedo.

### **4.2. Grupos genéticos de cacao en Ecuador**

Esta especie tiene tres grupos genéticos basados en características morfológicas y anatómicas: Criollo (*T. cacao* Spp. *criollo*), Forastero (*T. cacao* Spp. *sphaerocarpum*) y Trinitario (Rusconi & Conti, 2010). De estos, el tipo Criollo es bien conocido por su sabor superior y proporciona la materia prima a partir de la cual se producen los chocolates de fino sabor; estos representan del 5 % al 10 % de la producción mundial de chocolate. Sin embargo, la mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades, el bajo vigor y el rendimiento han hecho que esta variedad sea menos popular entre los productores de cacao. Hoy en día, la mayor parte de la producción mundial de chocolate (aproximadamente el 80 %) proviene del tipo de cacao Forastero; esta variedad se prefiere a la Criolla por su naturaleza resistente a enfermedades y alto rendimiento, y los granos de esta variedad son relativamente mejores que los del tipo Criollo. El tercer grupo genético, Trinitario, es un híbrido producido a partir de cruces entre las variedades Criollo y Forastero. Esta variedad se desarrolló inicialmente en Trinidad y, en la actualidad, se cultiva en muchas partes de América del Sur y Central, África, el Sudeste Asiático y Oceanía por su aroma, productividad y carácter resistente a las enfermedades (Wickramasuriya & Dunwell, 2018).

### **4.3. Condiciones edafoclimáticas**

Un suelo idóneo es de preferencia negro y con alto contenido de materia orgánica (>3 %), para suelos francos y de buena profundidad, en lotes de terreno no muy quebradizos y con poca pendiente, con suelos cuya capa arable tenga por lo menos 20 cm de profundidad, a fin de facilitar el desarrollo de las raíces. No deben ser suelos propensos a inundarse en ninguna época del año (Paredes Andrade, 2009), a mayor humedad relativa, mayor incidencia de enfermedades (Agris, 1996) por lo que, el grado propicio de HR es de 80 %. Con humedad relativa mayor a 85 % durante las periodos lluviosos y fríos, se desarrolla la incidencia de enfermedades

fungosas como la moniliasis y la mazorca negra (Villa et al., 2022). La mejor temperatura media anual para el cultivo del cacao se ubica en 25 °C con un rango de temperaturas media mensual entre 24 °C y 26 °C. Precipitaciones anuales dentro del rango de 1 500 y 2 000 mm; cerca de la línea del ecuador se desarrolla de manera normal con altitudes  $\leq$  1 400 m s.n.m, según el INIAP (2014) el rango idóneo para cacao es 15 a 800 m s.n.m.

#### **4.4. Ciclo productivo del cacao**

Los frutos maduran a lo largo del mismo tiempo, normalmente se llevan a cabo dos cosechas en un año: la cosecha principal y la cosecha intermedia, mismas que pueden variar según cada país. Se requieren de 5 a 6 meses entre la fertilización y la cosecha de los frutos. En Ecuador la temporada de cosecha dura alrededor de 5 meses (Erazo, 2019). Además, la producción puede ser precoz si se utilizan clones injertos que dan fruto a partir de los primeros dos años de establecimiento (Sánchez et al., 2017). Después de dos años de crecimiento, las plantas logran un desarrollo vigoroso en la copa, la cual puede alcanzar un IAF (Índice de Área Foliar) superior a dos y por tanto se comienza a dar el autosombreamiento. Es una especie cauliflora y por tanto caulifrutífera, su producción se fija en cojinetes florales siempre en el centro del árbol y en las partes lignificadas, normalmente en ramas de más de un año de crecimiento; este aspecto es importante ya que en la relación fuente demanda de carbono, existirán zonas definidas netamente productivas, que permiten y facilitan el movimiento de fotoasimilados de las hojas (Mialet-Serra et al., 2001).

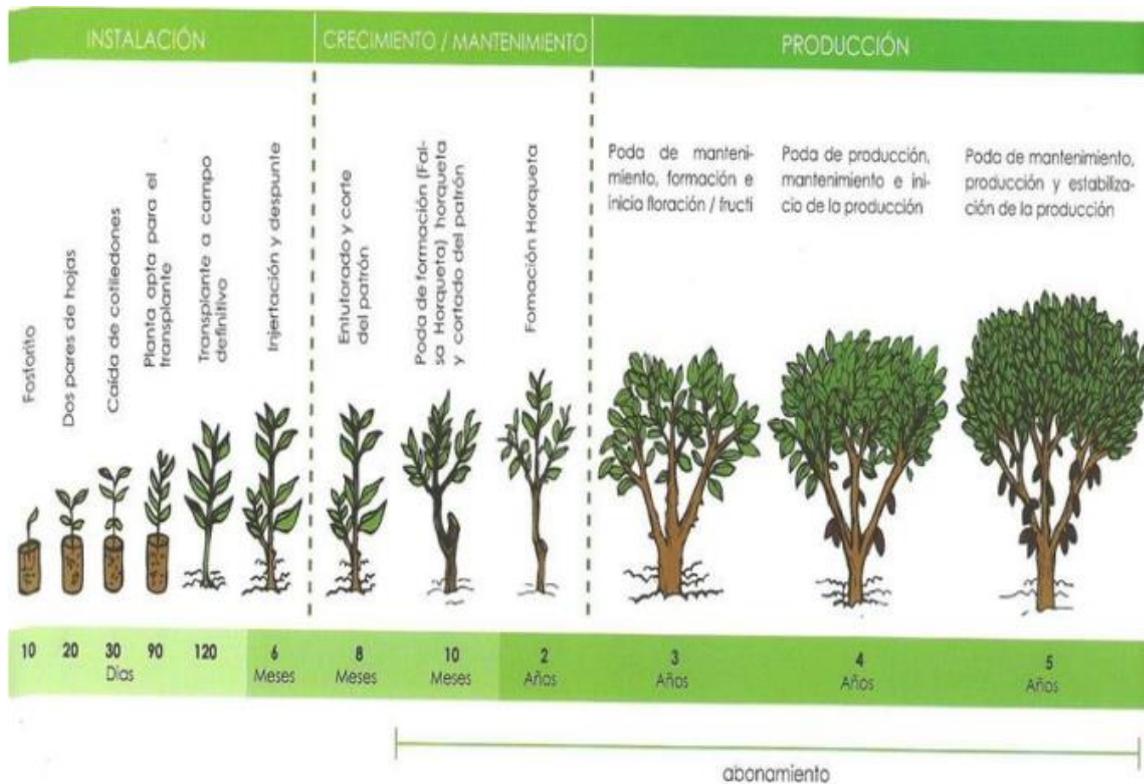
En el Proyecto de Reactivación de Café y Cacao Nacional Fino de Aroma del MAG, se determinó que en Ecuador existen dos picos de cosecha importantes en el año, siendo los meses de abril y octubre para la región Costa; mayo y octubre para la Sierra, y junio y julio para la región amazónica (MAG/CGSI/DAPI, 2018).

#### **4.5. Ciclo fenológico del cacao**

Instalación. - Emergencia de semilla (0 – 10 días); formación de dos pares de hojas (10 – 20 días); caída de los cotiledones (20 – 30 días); planta apta para trasplante (30 - 90 días); trasplante a campo definitivo (90 – 120 días); Injerto y despunte (4 – 6 meses).

Crecimiento y mantenimiento. - Corte de patrón (6 – 8 meses); poda de formación de horqueta (falsa horqueta) y corte de patrón; formación de horqueta (2 años).

Producción. - Formación e inicio de floración y fructificación (3 años); inicio de la producción (4 años); estabilización de la producción (5 años) (Figura 1).



**Figura 1.** Fenología del cultivo del cacao.

Fuente: (Gómez et al., 2014; Quintos Coronado, 2018).

#### 4.6. Agrotecnia del cultivo

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

La siembra de sombra temporal (plátano) debe ser tres meses antes del trasplante de las plantas de cacao al campo. La sombra se elimina en su totalidad en el segundo año de cultivo, la poda de formación a partir de los 16 meses post siembra, 2 a 3 podas de mantenimiento al año, eliminando el follaje enfermo o con crecimiento anormal. Un 10 % del follaje en la época seca y 15 % de follaje en la época lluviosa. Se recomienda utilizar pasta protectora a base de cal y cobre en relación 3:1. Deben removerse semanalmente los frutos dañados en época lluviosa y cada dos semanas en época seca.

En caso de incidencia alta de enfermedades fúngicas con escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*), moniliasis (*Moniliophthora roreri*) y mazorca negra (*Phytophthora spp.*), se puede realizar aplicaciones de controladores fúngicos como Azoxystrobin en dosis de 0,8 l/ha<sup>-1</sup>; el número de aplicaciones dependerá de la incidencia y severidad de la enfermedad, enfatizando la protección de frutos en estado inicial de desarrollo (Loor Solórzano et al., 2018).

Durante los 2 primeros años de cultivo se vuelve agresiva la competencia de nutrientes por arvenses de hoja ancha, gramíneas a nivel del suelo, epífitas como algas y musgos que se incrustan en el tallo y ramas (Dubón, 2015), también existen plantas parásitas muérdago, pega con pega o suelda con suelda, pertenecientes a la familia Lorantáceae que crecen sobre el follaje y ramas afectando la floración, sirviendo como hospederos de plagas del cacao y disminuyendo su capacidad fotosintética (Venegas & Munoz, 1984).

#### **4.7. Clones de cacao en la Estación Experimental Tropical Pichilingue de INIAP**

Si bien cultivar cacao se ha mantenido estable en la última década, la innovación toma fuerza con el pasar de los años. Loor et al. (2018) menciona que las obtenciones recientes de clones de cacao EETP 800 y EETP 801, lanzados por INIAP en el 2016, en una altura máxima de 600 m s.n.m tienen mayor rendimiento que el CCN 51, logrando cifras de 3,2 a 3,4 t ha<sup>-1</sup> de grano. Estos clones se han adaptado a las zonas agroecológicas del Ecuador y adecuado para rehabilitar huertas tradicionales del campesinado familiar y posee un rendimiento de más de 2 toneladas por hectárea (FAO, 2022; García Briones et al., 2021).

Mejoramientos genéticos han dado como resultados híbridos de cacao (Loor-Solórzano et al., 2019). La planta “E5/T1/R2/A3” fue el resultado de la cruce CCN51 X EET 233. Los clones resultantes de cacao se analizaron durante cuatro años y sus características ponderadas son crecimiento semi-erecto, floración dentro del primer y tercer trimestre del año, formación de mazorca color verde y amarilla en su madurez y producción temprana a los 14 meses de sembrado. Los clones se registraron con la denominación INIAP-EETP 800 “Aroma Pichilingue” y INIAP-EETP 801 “Fino Pichilingue” y se comercializan a nivel nacional desde el año 2016 (Loor Solórzano et al., 2018).

#### **4.8. Clon EETP 801**

Puede entrar en producción antes de los 16 meses demostrando precocidad y asegurando un pronto retorno de la inversión realizada por el agricultor. (Barreto et al., 2015). Clones como EETP 801 se obtuvieron a partir de cruces de clones tipo Nacional, preseleccionados en función

de características de productividad y tolerancia a enfermedades con el clon CCN 51, incluso llegando a superarlo y conservando tanto las cualidades organolépticas de tipo Nacional, como una alta tolerancia a la pudrición helada de la vaina (Jaimez et al., 2021; Jaimez et al., 2022).

#### **4.9. Radiación fotosintéticamente activa (PAR) en el cacaotal**

Entre las bandas relevantes a lo largo del espectro de radiación solar, la visible (radiación fotosintéticamente activa, PAR) constituye el 43,9 % de la radiación solar total, la energía y su interacción con otras señales ambientales depende de él, incluido el suministro de nutrientes, puede afectar el metabolismo primario y secundario en plantas (Kramer & Evans, 2011; Morales & Kaiser, 2020).

La radiación solar percibida en diferentes intensidades puede limitar ciertos procesos fisiológicos en los cultivos, como la fotosíntesis y por ende su resultado en la producción (DaMatta, 2004), la radiación fotosintéticamente activa (PAR) es interceptada de forma diferente según la variedad de cacao (Cruz et al., 2016). En Ecuador experimentos dirigidos por INIAP han registrado clones de cacao Nacional con ausencia de sombra, encontrando valores ideales de fotosíntesis y rendimiento, lo cual cuestiona el manejo de cultivo tradicional que se ha venido practicando por años (Jaimez et al., 2018).

Al ser originaria de la Amazonía el cacao es una planta tolerante al sombreado y por ello, tiene una baja capacidad de fotosíntesis neta entre 15 a 35 mg CO<sub>2</sub>/dm<sup>2</sup>/h , esto es la mitad o una tercera parte del máximo de intensidad lumínica (Clavijo, 1984). Investigaciones desarrolladas en Brasil y otros países como Ghana, han demostrado que al reducir el nivel de sombreado, aumenta la capacidad fotosintética de la hoja un 18 a 20 % y por ende la producción, pero a su vez el aumento excesivo de luz favorece el ataque de plagas y enfermedades en el follaje, reduce la vida útil del cultivo y aumenta el estrés de la planta por agua y nutrientes, generando impactos negativos al medio ambiente (Manfred & Valle, 2012; Murray, 1982).

#### **4.10. La sombra temporal y permanente en la plantación**

En su mayoría los países cacaoteros establecían el cultivo bajo bosques raleados siendo una opción económica y fácil para tener sombra permanente en un corto tiempo. A medida que avanza la agricultura los componentes como tipos de híbridos, mayores densidades, controles de sombra y uso de insumos agrícolas, obliga al agricultor a implantar todas estas al mismo tiempo sumando a una sombra temporal, a razón de que una permanente tarda mucho en desarrollarse y exceptuarla generaría deficiencias en la etapa inicial (Meléndez, 1993). Asociar

cultivos como yuca, papaya y plátano se establecen con bastante anticipación al sembrado del cacao (6 – 7 meses) y sirven para cubrir el suelo y proteger las plántulas de la radiación solar durante la etapa inicial (prendimiento). Y especies forestales como caoba, cedro o laurel son aplicables para sombra permanente distribuyéndolos en linderos de preferencia callejones, permitiendo obtener madera cuando las plantaciones de cacao terminen su vida productiva, reflejándose un beneficio extra después de los 25 años con estimado de 5 000 pies cuadrados de madera por árbol (Quiroz & Mestanza, 2012; Somarriba et al., 2022).

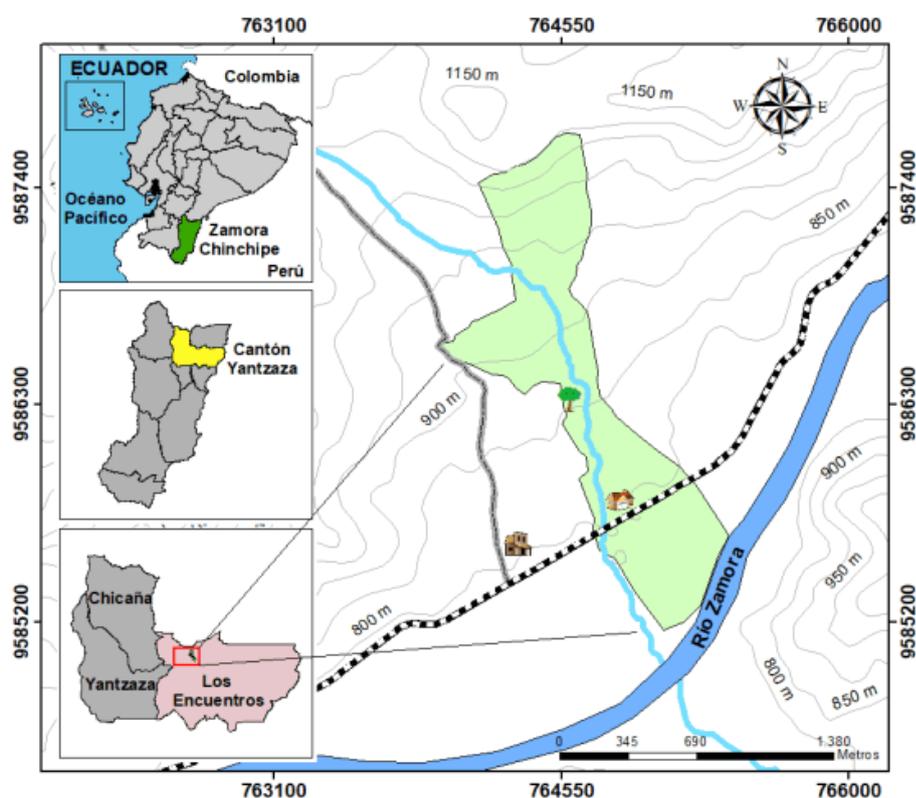
Las plantas forestales deben tener las siguientes características:

- Una copa que permita el ingreso y paso de rayos solares.
- Ser de raíz profunda, no competitiva con el cacao por agua y nutrientes.
- Rápido crecimiento, longeva y de buena capacidad de regeneración.
- Tolerancia a corriente fuerte de vientos.
- Preferentemente debe ser una leguminosa.
- No ser hospedero de plagas que dañen al cacao.
- A mayor precipitación fluvial, la densidad de la sombra será mayor, en promedio 18 x18 m.
- A menor precipitación fluvial, la densidad de la sombra será menor, en promedio 12x12m (APPCACAO, 2013; Sandino et al., 1999).

## 5. Metodología

### 5.1. Ubicación del área de estudio

La investigación se efectuó en la Estación Experimental El Padmi perteneciente a la Universidad Nacional de Loja, ubicada en las coordenadas 3°44'19.4"S 78°37'05.0"W, en la provincia de Zamora Chinchipe, cantón Yantzaza, parroquia Los Encuentros, barrio El Padmi (Armijos Ojeda, 2010) (Figura 2). La estación posee un área de 103,5 ha, una altitud que oscila entre 775 a 1 150 (m s.n.m). Rige un clima cálido y lluvioso, sin estaciones, una temperatura media anual de 19,3 °C, precipitación anual de 1 856 mm, siendo septiembre el mes más seco (83 mm) y febrero el más húmedo (200 mm) (Climate-data.org, 2022). Además, presenta una humedad relativa (HR) >84 % y con nubosidad promedio del 87 % (Weatherspark.com, 2016).



**Figura 2.** Localización del área de estudio (Estación Experimental El Padmi - UNL)

### 5.2. Tipo de Investigación

Es una investigación de índole descriptiva - causal, que se enfoca en las características poblacionales del experimento, para describir de manera cuantitativa los datos compilados para someterlos a análisis estadísticos que permitirán probar o cuestionar la hipótesis planteada.

### **5.3. Alcance de la investigación**

El alcance es descriptivo y explicativo, a fin de evaluar el efecto de tres niveles de sombra en el rendimiento del Cacao en el clon ETPP 801.

### **5.4. Material vegetal y establecimiento del ensayo**

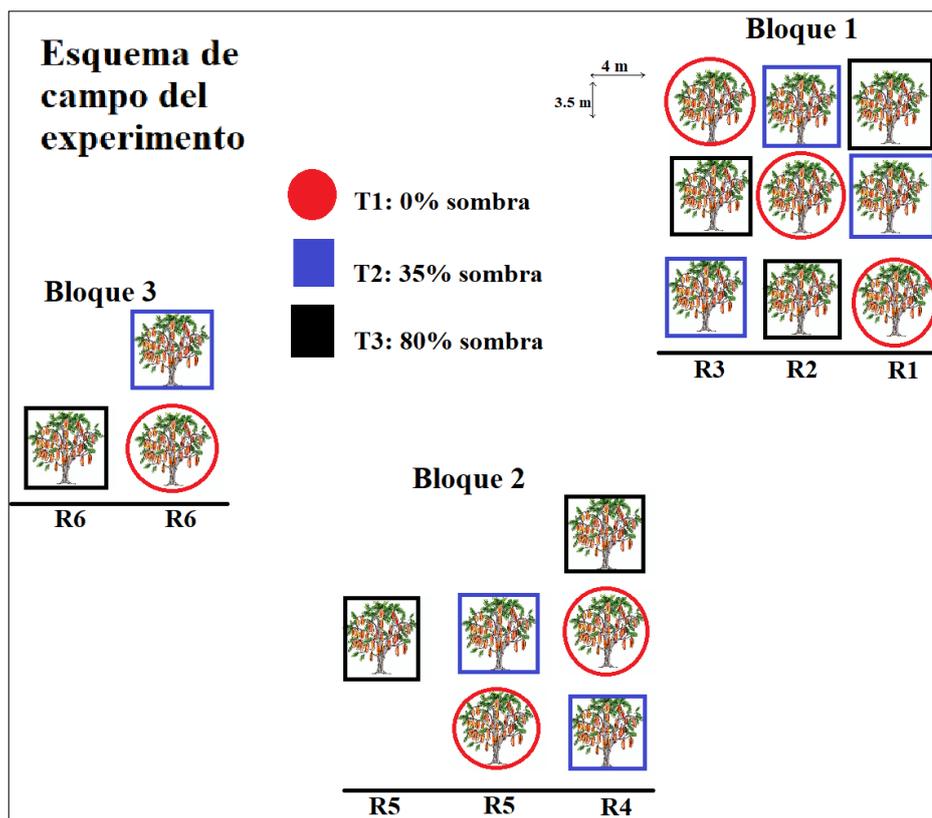
Se trabajó con plantas establecidas de cacao clon EETP 801 en fase de producción con una edad de 2 años 10 meses, por parte del macroproyecto “Efecto de la radiación fotosintéticamente activa sobre cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Región sur del Ecuador y sus implicaciones agronómicas”. El marco de plantación que se utilizó fue de 3,5 m x 4 m, con una densidad de 714 plantas ha<sup>-1</sup> (Figura 3).

Es importante mencionar que los tratamientos con sombra se vienen aplicando desde el inicio de la plantación. De manera artificial la sombra se implantó utilizando malla Raschell (sarán), en diferentes gramajes (% de luz obstruida) para regular la intensidad de luz en 35 y 80 % sobre la planta. Se restauró y adaptó al tamaño actual de la planta que es 1,7 m de altura, desde el suelo y se fue levantando y expandiendo según como vaya creciendo la planta (Anexo 3, foto 1). Todas las plantas recibieron el mismo manejo agronómico, prácticas culturales y manejo de plagas y enfermedades, y no se aplicó fertilizante alguno, con el fin de evitar variación de las unidades experimentales y en consecuencia datos que perjudiquen el análisis estadístico.

### **5.5. Diseño experimental**

La investigación se realizó en dos fases: una en campo y la otra en laboratorio. Primero en campo se identifica la plantación, se realizó la aplicación de sombreo al 35 y 80 % y recolectó datos de crecimiento, producción y rendimiento de plantas de cacao clon EETP 801 durante los meses de noviembre del 2022 a abril del 2023. La fase dos se realizó en el Laboratorio Bromatología de la Universidad Nacional de Loja, a fin de medir peso total de mazorcas cosechadas, de grano seco, de grasa, entre otros indicadores (Anexo 3, foto 2).

Se trabajó con un diseño completamente al azar (DCA) mono factorial con 3 tratamientos correspondiente a dos niveles de sombra (35 y 80 %) y un testigo sin sombra (0 %). Se realizó 6 repeticiones por cada tratamiento, considerando la unidad experimental una planta de cacao clon EETP 801 (Figura 3).



**Figura 3.** Esquema de campo que muestra cómo se distribuyeron las repeticiones (R), unidades experimentales (planta) y tratamientos el en terreno.

## 5.6. Análisis estadístico

Se parte por la evaluación de supuestos de normalidad (test de Shapiro-Wilks), homocedasticidad (test de Levene) y Análisis de Varianza (ANOVA) en las variables que se involucran directamente con la producción, para determinar si existen, o no, diferencias significativas entre los tratamientos. En el caso de tener diferencias significativas entre los tratamientos, se realizó una prueba de TUKEY con un porcentaje del 95 % de confiabilidad, para así determinar cuál es el mejor tratamiento. Todo este análisis se lo hizo mediante el programa INFOSTAT 2020 versión estudiantil.

## 5.7. Metodología para los Objetivos

### 5.7.1. Metodología para el primer objetivo

Para determinar el efecto de las diferentes intensidades de luminosidad sobre las variables de rendimiento de cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP 801, se consideraron los descriptores agronómico - industriales de productividad en cacao según Garcia (2010) y la escala BBCH propuesta por Niemenak et al. (2010).

### **5.7.1.1. Variables morfológicas y productivas de fruto y semilla**

Se contó el número total de frutos que exitosamente llegaron a la madurez fisiológica de cosecha en cada unidad experimental (UE) (Anexo 3, foto 3); el número total de semillas en los frutos de cada planta, obteniendo un valor promedio por UE.

Usando una balanza de precisión SB8000 by Mettler-Toledo® y CAMRY® EK3651, se midieron en gramos el peso de mazorca y peso promedio del contenido de mazorca (semillas) en fresco y seco (Anexo 3, foto 4). Así mismo, para obtener el peso promedio de una semilla se suma una muestra de  $n = 15$  semillas con 3 días de fermentado y 7 días de sol directo (no marquesina) y posteriormente se divide entre 15.

### **5.7.1.2. Variables productivas de la planta**

Según Graziani et al. (2002) el índice de mazorca (IM) consiste en contar todas las mazorcas necesarias para obtener 1 kg de cacao en fresco (en baba) y seco; para el experimento trabajó con datos de plantas que dieron fruto y se aplicó la fórmula propuesta por Wood y Lass (1984):

$$IM = 1000/NUSE \times PESE$$

Donde:

$$NUSE = \text{número de semillas /fruto}$$

$$PESE = \text{peso seco promedio de una semilla}$$

La producción promedio se determinó multiplicando el número de frutos por planta por el peso promedio fresco y seco del contenido de mazorca. Mientras que, el rendimiento por hectárea se calculó mediante el producto del peso promedio de la semilla seca, el número de semillas por fruto, el número de frutos por planta y la densidad de siembra durante la etapa de formación de la producción y primera cosecha del cultivo, que fue de 5 meses y 12 días.

### **5.7.2. Metodología para el segundo objetivo**

Para identificar la intensidad de luminosidad que usa el cacao EETP 801 en términos de radiación PAR, se utilizaron dispositivos de medición portátiles no destructivos, de índole fisiológico - vegetal que involucran al conjunto biomasa – luz de las unidades experimentales; adicional se aplicó un análisis bromatológico de diagnóstico al mucílago y semilla. Las variables utilizadas se muestran a continuación:

### **5.7.2.1. Radiación PAR**

Para esta variable se utilizó un piranómetro PAR SQ - 110 Sensor cuántico producido por Apogee Instruments®, mismo que mide el número total de fotones dentro del rango de longitud de onda de interés agronómico de 400 a 700 nm convirtiéndolos en unidades  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Se medirá los niveles de radiación en tres momentos de la visita; al inicio, medio y al atardecer del día con el software Zentra Utility en un celular inteligente para su posterior tabulación en Excel (Anexo 3, foto 5). El resultado se presentó en función de la hora.

### **5.7.2.2. Variables fisiológicas y de crecimiento del cacao**

Se calculó el índice de área foliar (IAF) para identificar cuanto crece la planta cuando se somete a sombra, indicando la relación entre el área foliar total y la superficie del suelo que ocupa la planta, la cual al dividir área/área es adimensional. Se utilizó la ecuación de regresión sugerida por Herrera et al. (2022) ( $y = 1,9944 x^{2,0698}; R^2 = 0,98; P \leq 0,001$ ) que permite estimar el área foliar de todas las hojas a partir de su ancho promedio en metros (x) de una muestra de 20 hojas por UE (Anexo 3, foto 6). Posteriormente el área foliar (AF) se multiplica por el número total de hojas en la planta para obtener el AF total. La superficie que ocupa la planta en el suelo es de  $14 \text{ m}^2$ , correspondiendo al producto del marco de plantación  $3,5 \text{ m} * 4 \text{ m}$ .

Se tomaron medidas del diámetro de copa (m) con una cinta métrica en sentido norte-sur = Dc1 y este-oeste = Dc2, al inicio y al final del experimento aplicando la siguiente fórmula:

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

La concentración de clorofila presente en las hojas refleja en consecuencia el Nitrógeno (N) en la planta, tal concentración se medirá con el instrumento SPAD-502 Plus producido por Konika Minolta®, cuyo índice (Soil Plant Analysis Development); corresponde a la absorción de la hoja en las longitudes de onda de región roja y cercanas a infrarroja. Con estas dos absorbancias se cuantifican valores dimensionales que van de 0 a 199 denominándose unidades SPAD. Se tomaron 4 datos en todas las UE bajo el protocolo adaptado de Hurtado et al. (2017) durante la hora solar de 10H00 y 12H00 para asegurar que la hoja este expandida y seca, evitando el rocío de la mañana, obteniendo el dato promedio de la suma de la parte distal del lado adaxial de la hoja, entre el nervio principal y el borde de la hoja. La medición se realizó cada veintiún días (Anexo 3, foto 7).

### **5.7.2.3. Composición química de la semilla y mucílago**

Son aquellas características químicas del tejido en la almendra de cacao, la determinación del contenido de grasa (Anexo 3, foto 8) se realizó bajo el método AOAC

2003.06 mediante el uso de un equipo Soxhlet, se aplicó hidrólisis que afecta a las paredes de la célula y desintegra las emulsiones de grasa y los enlaces de proteína y lípido (Mena, 2016). La determinación de proteína cruda (Nitrógeno total) se determinó mediante el protocolo AOAC 2001.11 usando el equipo Kjeldahl para su posterior titulación y conteo (Anexo 4, foto 9).

Para obtener la humedad fue necesario calcular el valor de la materia seca del grano del cacao, para ello se realizó tres mediciones en el peso de la muestra donde se colocó en los crisoles y pesó 2 g por muestra en el crisol, posterior se llevó a una estufa MEMMERT a 65 °C durante 24 horas. A la mañana siguiente se retiró los recipientes con la muestra y se colocó en un desecador hasta enfriarse a temperatura ambiente, finalmente se volvió a pesar en balanza analítica y se digitalizaron los datos (Anexo 3, foto 10). Para este proceso se aplicó la siguiente fórmula.

$$\% \text{ MSP} = \frac{\text{Peso de la muestra parcialmente seca}}{\text{Peso muestra TCO}} * 100$$

$$\% \text{ HI} = 100 - \% \text{ MSP}$$

Donde: Porcentaje de humedad inicial (%HI) = Porcentaje de humedad parcial (%HP)

El contenido de cenizas siguió el protocolo AOAC 923.03 del laboratorio de suelos, agua y bromatología de la UNL, utilizando las muestras anteriores y una mufla ajustada a (550 ± 15°C), durante 30 minutos.

El mucílago es la sudoración blanquecina de pulpa que surge de los tegumentos; es aromática, rica en azúcares (10 % – 13 %), pentosanos (2 % – 3 %), ácido cítrico C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub> (1 % – 2 %) y sales (8 % – 10 %), que cubre el grano de cacao contenido en el tejido endocarpiano de la mazorca (Jayeola et al., 2018). Con el mucílago obtenido se determinó las variables pH, grados brix y acidez titulable, bajo el protocolo AOAC 942.15 adaptado al laboratorio de bromatología de la UNL (Anexo 3, foto 11).

## 6. Resultados

### 6.1. Variables morfológicas y productivas de fruto y semilla

La aplicación y ausencia de sombra no afectó significativamente a los parámetros morfológico productivos en frutos y semillas desde los 21 DDT hasta a los 163 DDT. Se encontró que el cacao EETP 801 bajo las condiciones edafoclimáticas del sector El Padmi poseen en promedio, 6 frutos por planta, 38 semillas por fruto, un peso de mazorca de 569 gramos, peso de 151 gramos de contenido fresco y 52 gramos en seco, con 3,59 gramos de peso por semilla fresca y 1,43 gramos por semilla seca (Tabla 1).

Tabla 1. Efecto de diferentes niveles de sombra en cacao sobre características morfológicas productivas de fruto y semillas (g) 163 días después de aplicación del tratamiento (DDT).

Variable	Tratamientos			EEM	P-valor
	163 DDT	0 %	35 %		
Número de frutos	6,67	8,83	3,67	2,04	0,2303
Número de semillas / fruto	37,08	39,33	37,5	2,36	0,7645
Peso de mazorca (g)	645,58	637,63	423,3	134,08	0,4371
Peso contenido fresco (g)	170,32	164,85	117,5	26,94	0,3459
Peso contenido seco (g)	52,14	56,49	48,71	7,91	0,7908
Peso 1 semilla fresco (g)	4,12	3,97	2,69	0,5	0,1384
Peso 1 semilla seco (g)	1,5	1,54	1,25	0,14	0,3294

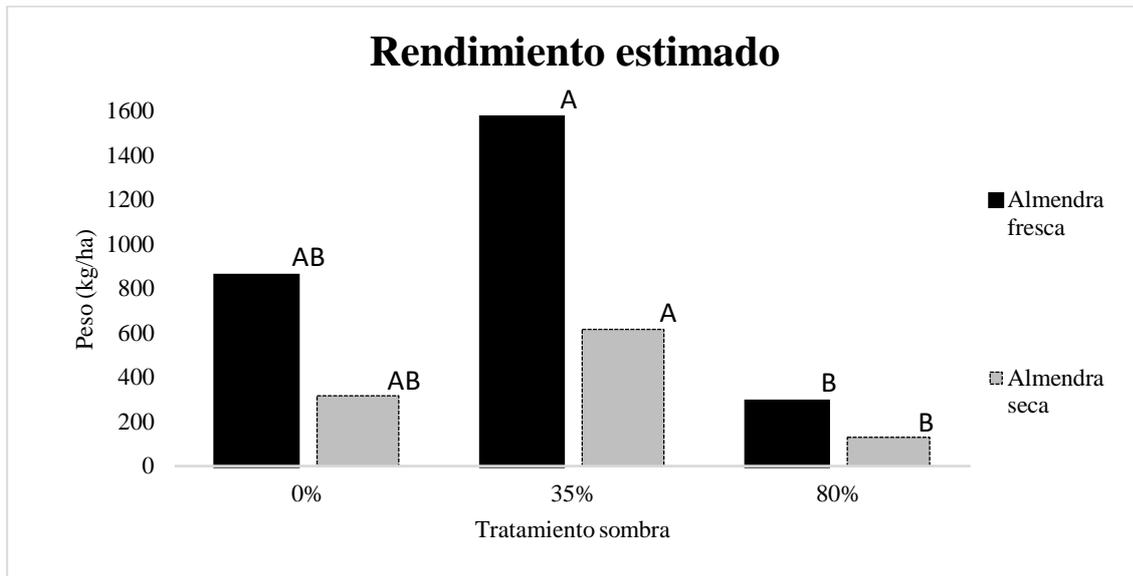
### 6.2. Variables productivas de la planta

No se encontraron diferencias significativas respecto al índice de mazorca, que en promedio fue de 8 y 19 frutos para 1 kg se semilla fresco y seco respectivamente. La producción no se vio afectada por la sombra o su ausencia, generando en promedio 1,4 kg de cacao fresco y 0,5 kg seco por UE, hasta la primera cosecha que fueron 5 meses y 12 días (Tabla 2).

Tabla 2. Cantidad y peso (kg) de variables productivas en cacao bajo diferentes niveles de sombra 163 días después de aplicación del tratamiento (DDT).

Variable	Tratamientos			EEM	P-valor
	163 DDT	0 %	35 %		
Índice de mazorca en Fresco	6,75	6,55	11,83	2	0,1665
Índice de mazorca en Seco	18,54	16,88	22,38	2,72	0,3887
Producción en fresco (kg)	1,34	2,32	0,48	0,45	0,0653
Producción en seco (kg)	0,42	0,8	0,19	0,16	0,0715

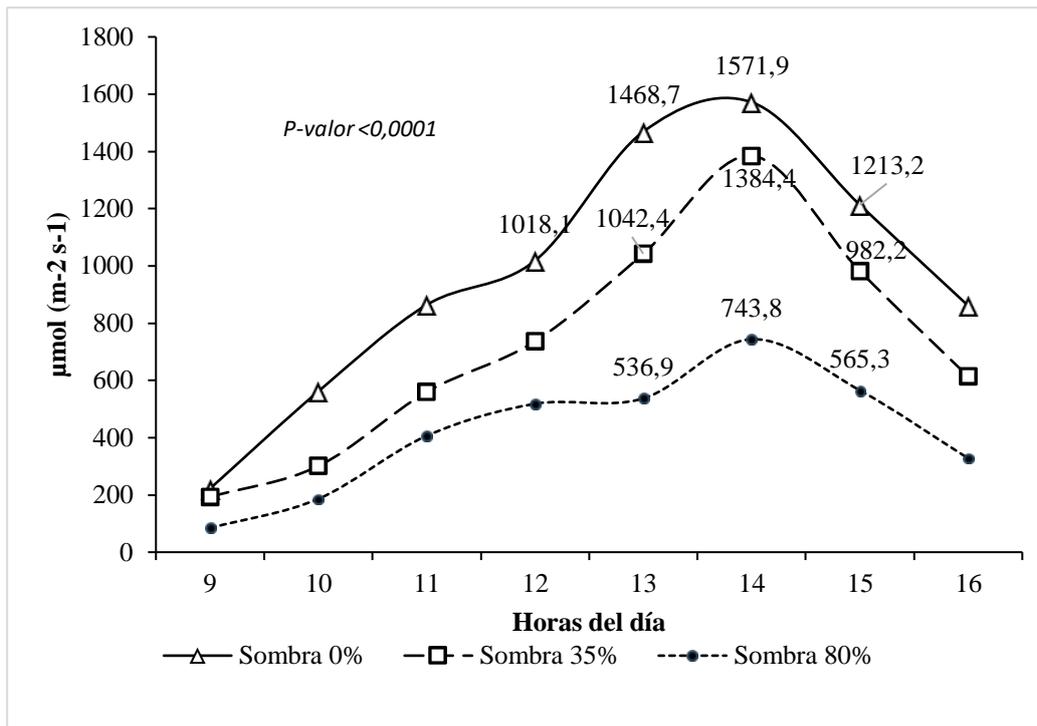
El rendimiento presentó diferencias significativas en fresco ( $p$  - valor = 0,0500) y seco ( $p$  - valor = 0,0575) (Figura 4) entre los tratamientos, ponderándose T2 35 % con 1573,11 kg/ha en almendra fresca y 617,91 kg/ha en almendra seca; consiguiente T1 0 % con 858,85 kg/ha y 316,62 kg/ha; y T3 con 290,31 kg/ha y 128,77 kg/ha, manteniendo un error estándar de 295,49 en fresco y 117,63 en seco.



**Figura 4.** Rendimiento estimado de cacao EETP801 bajo diferentes niveles de sombra, calculado en kg por hectárea. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

### 6.3. Radiación PAR

Se encontró un efecto altamente significativo ( $p < 0,0001$ ) de la sombra en la radiación fotosintéticamente activa (PAR) disponible para las hojas de cacao al transcurrir las horas evaluadas (Figura 5), pues, al aumentar el gramaje de la malla raschel se reduce considerablemente el paso de luz solar, por ende, la PAR disponible. Se observó que las horas punta donde más luz dispone recibe la planta van desde las 12H00 hasta las 16H00 cuando es que comienza a descender la intensidad, siendo las 14H00 el momento con más radiación efectiva disponible para las hojas, ponderándose con 1 571,9 (T1); 1 384,4 (T2) y 743,8 (T3)  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  respectivamente del tratamiento.



**Figura 5.** Radiación fotosintéticamente activa (PAR) expresada en  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , muestreada en diferentes horas en un día de intenso sol, bajo diferentes niveles de sombra.

La sombra asistida impide el paso de luz en horas de la mañana pues, lo poco que hay disponible se reduce aún más por la alta nubosidad de la zona; por otra parte, la PAR desciende paulatinamente desde la antesala del ocaso (16H00 a 18H15) por lo que se deduce que su aplicación llegaría a ser contraproducente.

#### 6.4. Variables fisiológicas y de crecimiento del cacao

Desde la primera toma de datos (21 DDT) hasta la última toma (126 DDT), los tratamientos no presentaron diferencias significativas (Tabla 3). En promedio se obtuvo, un diámetro de copa fue de 1,59 metros por UE; un índice de área foliar de 0,56 representando cuántas capas de follaje puede cubrir 1 metro cuadrado significando mayor actividad fotosintética y por ende una mayor producción; no obstante, se aprecia que los tres tratamientos tuvieron un crecimiento rápido de follaje que duró 63 aproximadamente hasta alcanzar su pico máximo, tardando 105 días para T1 y T3, y 126 días para el T2 mismo que obtuvo valores mayores (Figura 6).

Tabla 3. Cantidad y peso (kg) de variables fisio productivas de cacao bajo diferentes niveles de sombra 126 días después de aplicación del tratamiento (DDT).

Variable	Tratamiento			EEM	P-valor
	126 DDT	0 %	35 %		
Diámetro de copa (m)		1,78	1,55	1,45	0,10 0,087
IAF		0,52	0,65	0,5	0,13 0,6974
Concentración de clorofila (SPAD)		49,14	48,84	54,03	1,96 0,1439

La concentración de clorofila de acuerdo a los resultados obtenidos no presentó diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en ninguno de los días evaluados teniendo un promedio de 50,67 unidades SPAD hasta la culminación del experimento.

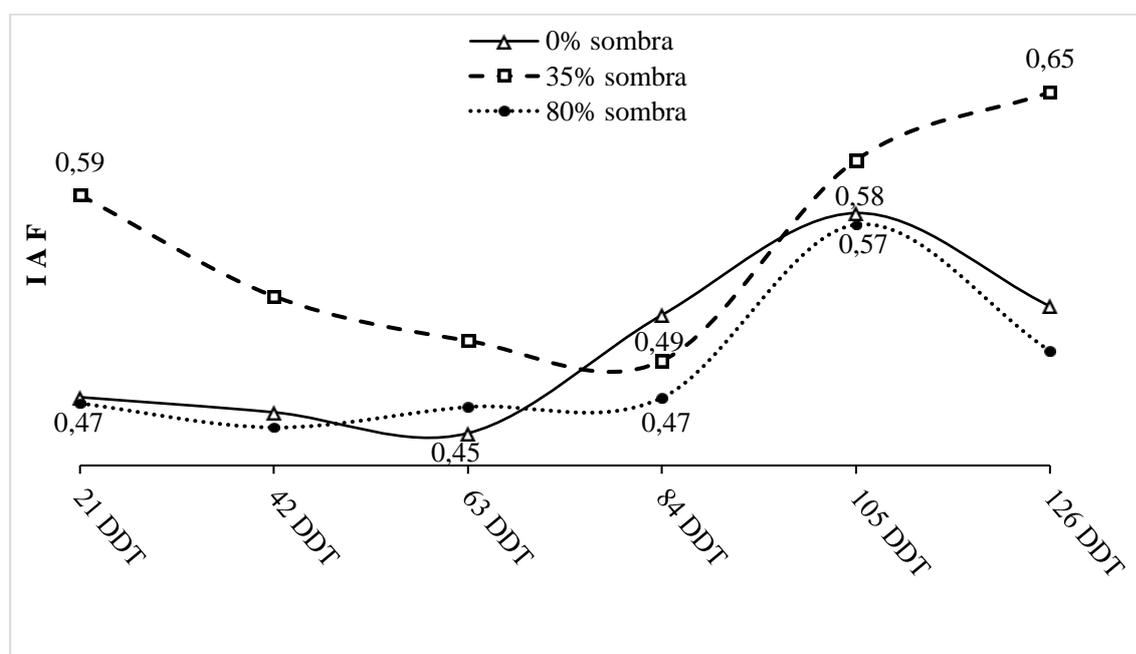


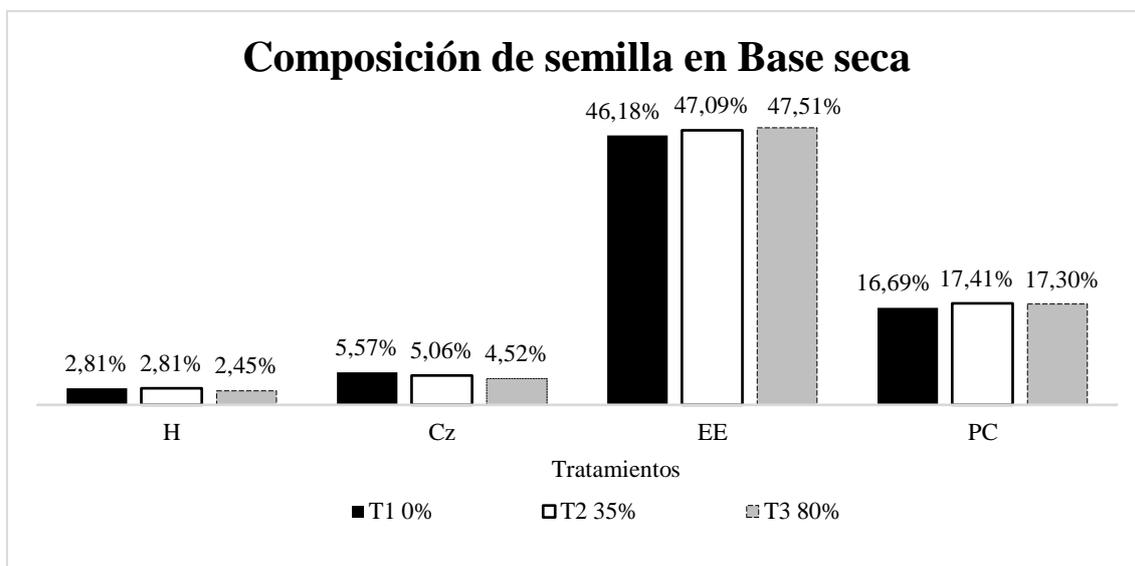
Figura 6. Evolución del índice de área foliar en plantas en un cultivo de cacao EETP 801 bajo diferentes porcentajes de sombra durante 126 días después del tratamiento.

### 6.5. Composición química de la semilla y mucílago

Por razones de poca de muestra al no coincidir la producción de los tratamientos durante la misma semana se optó por hacer un análisis bromatológico descriptivo de las medias del contenido del cacao fresco (TCO) y en base seca para referencia de futuras investigaciones.

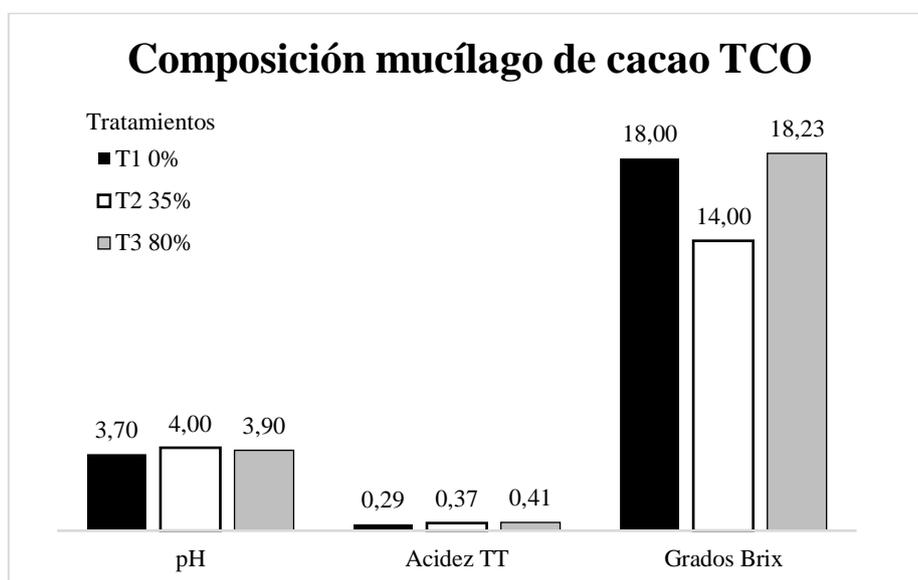
La almendra seca del clon de cacao EETP 801 sometido a diferentes niveles de sombra bajo condiciones edafoclimáticas del sector El Padmi provincia de Zamora Chinchipe, contiene en promedio: 2,69 % de humedad; 5,05 % ceniza, 46,92 % de extracto etéreo (grasa) lo que

indica que posee una calidad promedio, finalmente un 17,13 % de proteína cruda disponible de la muestra (Figura 7).



**Figura 7.** Contenido porcentual de humedad (H), ceniza (Cz), extracto etéreo (EE) y proteína cruda (PC) de la almendra seca de cacao clon EETP 801 bajo diferentes porcentajes de sombra.

El mucílago (TCO) obtuvo en promedio un pH moderadamente ácido equivalente a 3,87; una acidez titulable de 0,35 cítrico; y 16,74 grados brix o gramos de sacarosa en 100 gramos de solución, lo que equivale al 16,74 % brix (Figura 8).



**Figura 8.** Nivel pH, acidez titulable para cítrico (TT) y concentración Brix (°Bx) del mucílago tal como ofrecido en muestra proveniente de un cultivo de cacao clon EETP 801 bajo diferentes porcentajes de sombra.

## 7. Discusión

Los resultados del presente experimento no concuerdan con los de Velez Peñafiel (2021), quien evaluó la producción del clon EET801 en ausencia de sombra y en un suelo fertilizado del cantón Buena Fe, provincia de Los Ríos, obteniendo valores en peso de mazorcas de 1,23 kg/árbol, mientras que, en almendras frescas un valor de 0,58 kg/árbol, y un número de mazorcas/árbol de 0,08 dejando una idea hipotética de que el clon se mantuvo en temporada de reposo durante los 150 días que duró su ensayo.

Hay que destacar que solo T2 con 35 % de sombra, está dentro del rango y supera la información de Quiroz Vera et al. (2021) en el catálogo de cultivares de cacao en Ecuador sección EETP 801 que alude a este un rendimiento seco de 2 740 a 3 000 kg/ha, lo que sería unos 548 a 600 kg/ha en una cosecha mensual si los equiparamos al experimento realizado en El Padmi (Tabla 2).

El rendimiento productivo del tratamiento 2 (sombra 35 %) obtenido al finalizar el experimento en El Padmi 2023, se asemeja con los resultados de la investigación nacional sobre “Rendimiento de cacao almendra seca” del MAG/CGSI/DAPI (2018), la cual indica que en Zamora Chinchipe año 2017, en promedio; una hectárea de cacao nacional con material certificado, a una edad de 1 - 4 años, densidad de 715, y sin fertilización; produce 7 frutos sanos por árbol, un IM de 23 y un rendimiento de 0,66 t/ha (660 kg/ha). Por otra parte los tratamientos 1 (sombra 0 %) y 3 (sombra 80 %) se aproximan mucho a los resultados de Lema (2019), considerando una densidad promedio de 862, que da un rendimiento de 0,56 t/ha; y al del último estudio que involucró a Zamora Chinchipe en 2020 durante la pandemia de Covid-19, que reflejó 0,25 t/ha (MAG/CGINA, 2020).

La causa del descenso productivo desde el 2019 se alude a la baja densidad/ha condicionada por la topografía, manejo inadecuado o excesivo de la sombra por los sistemas de producción asociados con especies forestales o plantas frutales, y la falta de aplicación de fertilizante (Córdova-Ávalos, 2001; Lema, 2019; Pantoja & Lema, 2021).

Por lo tanto, el hecho de proveer sombra de origen agroforestal o artificial al sistema de productivo de cacao nacional fino de aroma en edad productiva, no significa que está vaya a influir sobre el rendimiento, por el contrario, el diagnóstico participativo de la cadena de valor del cacao en Ecuador 2021, menciona que los sistemas tradicionales (con sombra) de cacao nacional tienen menores rendimientos en comparación con los sistemas tecnificados y los monocultivos (sin sombra) (European Forest Institute, 2021; Guilcapi, 2018).

Con base en los resultados obtenidos de la evaluación de tres niveles de sombra sobre la fase productiva del clon de cacao EETP 801 en la estación experimental El Padmi provincia de Zamora Chinchipe, se encontró en gran parte que no existen diferencias significativas respecto a la cantidad de frutos cosechados, las características morfo-fisiológicas de la almendra y planta de cacao, por ende, su producción. Sin embargo, se obtuvo diferencias significativas ( $p$  – valor de 0,0500 y 0,0575) con respecto al rendimiento por hectárea tanto en fresco como en seco, por lo que se convalida la teoría de que la radiación afecta los rendimientos principalmente a través de la fotosíntesis (Baligar et al., 2008; Zuidema et al., 2005). Pudiendo deberse a una mayor producción de carbohidratos inducida por una mayor asimilación fotosintética (Gómez et al., 2014; Jaimez et al., 2018), puesto que se descarta un efecto positivo de la alta radiación en estación seca que permite de niveles más bajos de humedad, lo que reduciría la incidencia de moniliasis o lancha (*Phytophthora sp.*) (Akrofi et al., 2015; Gómez, 2002), porque a que la fructificación sucedió durante los meses de lluvia (febrero – marzo – abril).

Según Asitoakor et al. (2022); Rigal et al. (2022), esto podría deberse a la adaptabilidad de la planta del cacao a diferentes condiciones de sombra, lo que significa que puede mantener un nivel de producción estable sin importar si se encuentra expuesta a una mayor o menor cantidad de luz solar. Esta idea es respaldada por los hallazgos de Kramer and Evans (2011); Morales and Kaiser (2020), quienes también señalan que la capacidad de las plantas para aclimatarse a las fluctuaciones de irradiancia y la velocidad a la que se produce esta aclimatación son limitaciones potenciales para el crecimiento de las plantas en condiciones de campo y, por lo tanto, este proceso merece un estudio más detenido. Por otro lado, Asante et al. (2022) argumenta que puede ser resultado de la falta de control adecuado de otras variables que podrían influir en la producción de cacao, como la calidad del suelo (Florida Rofner et al., 2019), el manejo agronómico y la presencia de plagas.

Respecto a la composición química de la semilla y mucílago los datos obtenidos son características determinantes de la calidad por lo que necesitan ser investigadas constantemente para fines especialmente en la agroindustria ecuatoriana (Escobar et al., 2022).

El mucílago (TCO) se asemeja a investigaciones como la de Moreira (2019) en mucílago de cacao nacional fino, reportando en promedio un pH de 3,33; una acidez titulable de 1,54 cítrico y 21,89 grados brix. Según Armijos (2002) el pH óptimo para un cacao de calidad se debe encontrar en un rango de 5,1 a 5,4; La acidez titulable del presente trabajo

(0,35) corresponde a estado fresco sin fermentación, pues la acidez titulable aumenta con el tiempo (fermentación), pero puede variar en clones como el EET- 62. Según Stevenson et al. (1993) el porcentaje de acidez mayor a 0,15 se considera como demasiado alta, lo cual va afecta al sabor y dificulta la apreciación organoléptica. Torres et al. (2016) en su estudio muestra resultados semejantes de 0,71 de acidez titulable durante las primeras 8 horas de abierto el fruto, y 15 grados brix para el mucílago de cacao nacional.

El contenido en base seca (BS) del presente estudio muestra cercanía con lo obtenido por Bermúdez and Mendoza (2016), contenido de ceniza 4,01 y 4,5 % para cacao nacional, mencionando que esto indica claramente si un grano fue fermentado o directamente fue secado al sol. Un extracto etéreo 43,35 % al 47,03 % para un cacao de calidad media. La proteína cruda es superior al estudio de Álvarez et al. (2007) con un rango de variabilidad de 12,31 a 14,00 %; y un porcentaje de humedad inferior que oscila entre 4,26 a 6,37 %.

Si bien los resultados de esta investigación son alentadores a aceptar la hipótesis nula planteada al comienzo, también sugiere la necesidad de realizar estudios más exhaustivos que tomen en cuenta la variabilidad de factores que podrían afectar la producción de cacao, así como también considerar la influencia de otros cultivos intercalados en la plantación de cacao. En resumen, aunque se encontraron resultados no significativos en este estudio, se requiere de una mejor comprensión de los diversos factores que pueden influir en la producción de cacao bajo sombra en Ecuador.

## 8. Conclusiones

- La incorporación de sombra parcial a plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon EETP 801 bajo las condiciones de clima y suelo en la estación experimental El Padmi provincia de Zamora Chinchipe, influye positivamente sobre la fase productiva que contempla los meses de noviembre a julio, pues el tratamiento que obstruye en un 35 % el paso de luminosidad disponible (PAR) obtuvo rendimiento más alto 1 573,11 kg/ha en almendra fresca y 617,91 kg/ha en almendra seca, mientras que, si se aumenta u omite el porcentaje el rendimiento se reduce considerablemente.
- La obstrucción del 80 % de luz disponible en el cacaotal influye negativamente sobre el rendimiento por hectárea, de manera que si la sombra es excesiva el rendimiento decrece.
- La PAR referencial bajo la que trabaja la planta en un día soleado en la zona de ensayo, se ubica en un rango de 222,22 a 1 571,9  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , siendo las 12H00 hasta las 16H00, el intervalo de tiempo con más PAR disponibles.

## **9. Recomendaciones**

Conservar el cultivo de cacao libre de malezas durante todo el ciclo, de manera que se evite la competencia por nutrientes disponibles en el suelo, igualmente no descuidar las fechas establecidas para el control de enfermedades con podas fitosanitarias.

Se recomienda continuar este tipo de investigaciones, incluyendo otras variables que permitan mayor conocimiento, y en otros cantones de la provincia de Zamora Chinchipe y la región amazónica del país, para con ello generar información que contribuya a entender y desarrollar una mejor agrotecnia para el cultivo, transmitir los resultados obtenidos de esta investigación mediante foros o mesas de diálogo para formar alianzas de trabajo y así poder ahondar más en la investigación.

## 10. Bibliografía

- Agrios, G. N. (1996). *Fitopatología* (Limusa, Ed. 2ª ed.).
- Akrofi, A. Y., Amoako-Atta, I., Assuah, M., & Asare, E. K. (2015). Black pod disease on cacao (*Theobroma cacao*, L) in Ghana: spread of *Phytophthora megakarya* and role of economic plants in the disease epidemiology. *Crop Protection*, 72, 66-75. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.01.015>
- Álvarez, C., Pérez, E., & Lares, M. C. (2007). Caracterización física y química de almendras de cacao fermentadas, secas y tostadas cultivadas en la región de Cuyagua, estado Aragua. *Agronomía tropical*, 57(4), 249-256.
- APPCACAO. (2013). Instalación de sombras en plantaciones de cacao. In (pp. 1-4). Cusco - Perú.
- Armijos Ojeda, D. (2010). Herpetofauna de un bosque húmedo tropical en la estación el Padmi, de la Universidad Nacional de Loja. *Revista CEDAMAZ, Vol.1 No.1*, 59 - 66.
- Armijos, P. A. I. (2002). *Características de acidez como parámetro químico de calidad en muestras de cacao (Theobroma cacao L.) fino y ordinario de producción nacional durante la fermentación* <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1403>
- Asante, P. A., Rahn, E., Zuidema, P. A., Rozendaal, D. M., van der Baan, M. E., Läderach, P., . . . Anten, N. P. (2022). The cocoa yield gap in Ghana: A quantification and an analysis of factors that could narrow the gap. *Agricultural systems*, 201, 103473.
- Asitoakor, B. K., Vaast, P., Ræbild, A., Ravn, H. P., Eziah, V. Y., Owusu, K., . . . Asare, R. (2022). Selected shade tree species improved cocoa yields in low-input agroforestry systems in Ghana. *Agricultural systems*, 202, 103476. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103476>
- Baligar, V., Bunce, J., Machado, R., & Elson, M. (2008). Photosynthetic photon flux density, carbon dioxide concentration, and vapor pressure deficit effects on photosynthesis in cacao seedlings. *Photosynthetica*, 46, 216-221. <https://doi.org/10.1007/s11099-008-0035-7>
- Barreto, M., Santos, J., Corrêa, R., Luz, E., Marelli, J., & Souza, A. (2015). Detection of genetic resistance to cocoa black pod disease caused by three *Phytophthora* species. *Euphytica*, 206(3), 677-687. <https://doi.org/10.1007/s10681-015-1490-4>

- Bermúdez, A. K., & Mendoza, A. C. (2016). *Post-Cosecha y secado del grano del cacao nacional fino y de aroma para la determinación de perfiles físicos, bromatológicos y organolépticos* Calceta: ESPAM]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/562>
- Clavijo, J. (1984). *Los factores de la producción vegetal*.
- Climate-data.org. (2022). *Climograma Yantzaza (Ecuador)*.
- Córdova-Ávalos, V. (2001). Factores que afectan la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el ejido Francisco I. Madero del Plan Chontalpa, Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 17(34), 92-100. <https://doi.org/10.19136/era.a17n34.211>
- Cruz, J. A., Savage, L. J., Zegarac, R., Hall, C. C., Satoh-Cruz, M., Davis, G. A., . . . Kramer, D. M. (2016). Dynamic environmental photosynthetic imaging reveals emergent phenotypes. *Cell Systems*, 2(6), 365-377. <https://doi.org/10.1016/j.cels.2016.06.001>
- DaMatta, F. M. (2004). Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field crops research*, 86(2-3), 99-114. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.09.001>
- Dubón, A. (2015). *Control de malezas en el cultivo de cacao*. [http://fhia.org.hn/downloads/cacao\\_pdfs/infocacao/InfoCacao\\_No2\\_Sept\\_2015.pdf](http://fhia.org.hn/downloads/cacao_pdfs/infocacao/InfoCacao_No2_Sept_2015.pdf)
- Erazo, E. (2019). *Temporada de cosecha de Cacao-Ciclo Productivo*. [https://exportadoraerazo.com/blog\\_post/0013-temporada\\_de\\_cosecha.html#:~:text=Ciclo%20Productivo%3A,principal%20y%20la%20cosecha%20intermedia](https://exportadoraerazo.com/blog_post/0013-temporada_de_cosecha.html#:~:text=Ciclo%20Productivo%3A,principal%20y%20la%20cosecha%20intermedia).
- Escobar, Á. O. F., Solórzano, C. Y. E., Segarra, C. V. T., Navarrete, E. D. T., García, D. A. T., & Ocampo, R. G. D. (2022). Extracción de mucílago de cáscara de *Theobroma cacao* L. para uso en clarificación de jugos de *Saccharum officinarum*. *Ciencia y Tecnología*, 15(1), 25-33. <https://doi.org/10.18779/cyt.v15i1.540>
- European Forest Institute. (2021). *Diagnóstico de la cadena de valor del cacao, y mapeo de los indicadores y sistemas de información existentes* (Resultado del diagnóstico participativo en Ecuador, Issue. E. Facility. [https://euredd.efi.int/wp-content/uploads/2022/09/Informe-1\\_Diagnostico-cadena-Cacao\\_Ecuador.pdf](https://euredd.efi.int/wp-content/uploads/2022/09/Informe-1_Diagnostico-cadena-Cacao_Ecuador.pdf)
- FAO. (2022). *Liberación de clones de cacao de alto rendimiento EETP 800 y EETP 801*. <https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/449707/>
- Florida Rofner, N., Paucar García, H. J., Jacobo Salinas, S. S., Escobar Mamani, F., & Torres García, J. (2019). Efecto de compost y NPK sobre los niveles de microorganismos y cadmio en suelo y almendra de cacao. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 21(4), 264-273. <https://doi.org/10.18271/ria.2019.503>

- García Briones, A. R., Pico Pico, B. F., & Jaimez, R. (2021). La cadena de producción del Cacao en Ecuador: Resiliencia en los diferentes actores de la producción. *Revista Digital Novasinerгия*, 4(2), 152-172. <https://doi.org/10.37135/ns.01.08.10>
- García, L. F. (2010). *Catálogo de cultivares de cacao del Perú*.
- Gómez, A. (2002). Efecto de diferentes intensidades de luz sobre el intercambio gaseoso y desarrollo del cacao criollo guasare. *Trabajo de grado. Postgrado de Ecología Tropical, Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE), Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela*.
- Gómez, A., García, B., Tong, F., & González, H. (2014). *Paquete tecnológico del cultivo de cacao fino de aroma*. [https://issuu.com/devida-peru/docs/paquete\\_tecnologico\\_cultivo\\_cacao](https://issuu.com/devida-peru/docs/paquete_tecnologico_cultivo_cacao)
- Graziani, L., Ortiz de Bertorelli, L., Angulo, J., & Parra, P. (2002). Características físicas del fruto de cacaos tipos criollo, forastero y trinitario de la localidad de Cumboto, Venezuela. *Agronomía tropical*, 52(3), 343-362.
- Guilcapi, M. (2018). Análisis del estado actual de las cadenas de café y cacao. PRODUCTO 2: CACAO. *Ministerio del Ambiente y Ministerio de Agricultura y Ganadería. Quito, Ecuador*.
- Herrera, R., Matute, S. C. V., Graña, F., Müller, M. M., Morocho, M. I. C., & Guamán, A. O. (2022). Interacción de n, pyk sobre características del suelo, crecimiento y calidad de fruto de cacao en la amazonía ecuatoriana. *Bioagro*, 34(3), 277-288. <https://doi.org/10.51372/bioagro343.7>
- Hurtado, E., González-Vallejos, F., Roper, C., Bastías, E., & Mazuela, P. (2017). Propuesta para la determinación del contenido de clorofila en hojas de tomate. *Idesia (Arica)*, 35(4), 129-130.
- Jaimez, R., Vásconez, G., Sotomayor, I., Quijano, G., Morante, J., Arteaga, F., & Cedeño-García, G. (2021). Physiological and root morphological responses in different combinations of rootstock-scion of cacao to water deficit. *REVISTA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA*, 38(3), 630-650. [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v38.n3.09](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v38.n3.09)
- Jaimez, R. E., Amores Puyutaxi, F., Vasco, A., Loor, R. G., Tarqui, O., Quijano, G., . . . Tezara, W. (2018). Photosynthetic response to low and high light of cacao growing without shade in an area of low evaporative demand. *Acta biol. colomb*, 23(1), 95 - 103. <https://doi.org/10.15446/abc.v23n1.64962>

- Jaimez, R. E., Barragan, L., Fernández-Niño, M., Wessjohann, L. A., Cedeño-García, G., Cantos, I. S., & Arteaga, F. (2022). *Theobroma cacao* L. cultivar CCN 51: a comprehensive review on origin, genetics, sensory properties, production dynamics, and physiological aspects. *PeerJ*, *10*, e12676. <https://doi.org/10.7717/peerj.12676>
- Jayeola, C. O., Adebawale, B. A., Yahaya, L. E., Ogunwolu, S. O., & Olubamiwa, O. (2018). Production of bioactive compounds from waste. In *Therapeutic, Probiotic, and Unconventional Foods* (pp. 317-340). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814625-5.00017-0>
- Kramer, D. M., & Evans, J. R. (2011). The importance of energy balance in improving photosynthetic productivity. *Plant physiology*, *155*(1), 70-78. <https://doi.org/10.1104/pp.110.166652>
- Lema, V. H. (2019). *Informe de rendimientos objetivos de cacao (almendra seca) 2019*. Quito: MAG Retrieved from <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/rendimientos-de-cacao-2019>
- Loor-Solórzano, R. G., Amores-Puyutaxi, F. M., Vasco-Medina, S. A., Quiroz-Vera, J. G., Casanova-Mendoza, T. d. J., Garzón-Catota, A. I., . . . Rodríguez-Zamora, G. A. (2019). INIAP-EETP-800 ‘Aroma pichilingue’, nueva variedad ecuatoriana de cacao fino de alto rendimiento. *Revista fitotecnia mexicana*, *42*(2), 187-189. <https://doi.org/10.35196/rfm.2019.2.187-189>
- Loor Solórzano, R. G., Sotomayor Cantos, I. A., Jiménez Barragán, J. C., Tarqui Freire, O. M., Rodríguez Zamora, G. A., Casanova Mendoza, T. d. J., & Quijano Rivadeneira, G. C. (2018). *INIAP-EETP-800 e INIAP-EETP-801 nuevos clones de cacao fino y de aroma con alto rendimiento* (Beneficios post cosecha, Issue).
- MAG/CGINA. (2020). *Informe de rendimientos de cacao almendra seca*. Retrieved from <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/rendimientos-de-cacao-2020>
- MAG/CGSI/DAPI. (2018). *Rendimientos de cacao almendra seca (Theobroma cacao) en el Ecuador 2017*
- Quito - Ecuador: Ministerio de agricultura y ganaderia Retrieved from <https://fliphtml5.com/ijia/zmnj/basic>
- Manfred, W., & Valle, R. (2012). *Ecofisiología do cultivo do cacaoueiro*.
- Meléndez, M. (1993). Sombras temporales para cacao. In W. P. Mora (Ed.), *Seminario regional “Sombras y Cultivos Asociados con Cacao”* (pp. 99-110). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza-CATIE.

- Mena, J. A. J. (2016). *Validación del Método Gravimétrico para la determinación de grasa en el Laboratorio ECUACHEMLAB Cía. Ltda* Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos ...].
- Mialet-Serra, I., Dauzat, J., & Auclair, D. (2001). Using plant architectural models for estimation of radiation transfer in a coconut-based agroforestry system. *Agroforestry Systems*, 53(2), 141-149. <https://doi.org/10.1023/A:1013320419289>
- Morales, A., & Kaiser, E. (2020). Photosynthetic acclimation to fluctuating irradiance in plants. *Frontiers in Plant Science*, 11, 268. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00268>
- Moreira, S. T. (2019). *Caracterización del mucílago de caco (Theobroma Cacao L.) nacional y trinitario en el cantón Quevedo* Quevedo-UTEQ]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/items/2f5c84bf-3391-4300-a331-f4c09c3ab5d4>
- Motamayor, J. C., Risterucci, A.-M., Lopez, P. A., Ortiz, C. F., Moreno, A., & Lanaud, C. (2002). Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity*, 89(5), 380-386. <https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6800156>
- Murray, D. B. (1982). *Sombra y Nutrición Cacao* (3ª. Edición Mexico ed.).
- Niemenak, N., Cilas, C., Rohsius, C., Bleiholder, H., Meier, U., & Lieberei, R. (2010). Phenological growth stages of cacao plants (*Theobroma sp.*): codification and description according to the BBCH scale. *Annals of Applied Biology*, 156(1), 13-24. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00356.x>
- Pantoja, C. E., & Lema, C. V. H. (2021). *Informe de rendimientos objetivos de cacao (almendra seca) 2021*. Quito: MAG Retrieved from <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/rendimientos-de-cacao-2021>
- Paredes Andrade, N. (2009). *Manual de cultivo de cacao para la Amazonía ecuatoriana*. Quito: Instituto nacional autónomo de investigaciones agropecuarias - INIAP
- Quintos Coronado, C. R. (2018). Evaluación del daño de *Antiteuchus sp* en frutos de cacao (*Theobroma cacao L.*) en el valle del Bajo Mayo, región San Martín.
- Quiroz, J., & Mestanza, S. (2012). *Establecimiento y manejo de una plantación de cacao*. INIAP Archivo Historico
- Quiroz Vera, J. G., Mestanza Velasco, S. A., Parada Vera, N. C., Morillo Velasteguí, L. E., Samaniego Maigua, I. R., & Garzón Catota, A. I. (2021). Catálogo de Cultivares de Cacao en Ecuador.
- RAE. (2014). cacao1. In *Diccionario de la lengua española*. Retrieved 22/11/2022, from

- Rigal, C., Wagner, S., Nguyen, M. P., Jassogne, L., & Vaast, P. (2022). ShadeTreeAdvice methodology: Guiding tree-species selection using local knowledge. *People and Nature*, 4(5), 1233-1248. <https://doi.org/10.1002/pan3.10374>
- Rusconi, M., & Conti, A. (2010). Theobroma cacao L., the Food of the Gods: A scientific approach beyond myths and claims. *Pharmacological research*, 61(1), 5-13. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2009.08.008>
- Sánchez, M., León, D. G., Arce, S. M., López, T. D., & Rodríguez, P. M. (2017). Technical Manual for Cocoa Cultivation Latin American Practices. *MA Sanchez, Manual Tecnico del Cultivo de Cacao Practicas Latinoamericanas*.
- Sandino, D., Grebe, H. W., & Malespín, M. (1999). Desarrollo agroforestal con cacao en Waslala, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*, 6(22), 1-4.
- Somarriba, E., Zamora, R., Barrantes, J., Sinclair, F. L., & Quesada, F. (2022). ShadeMotion: tree shade patterns in coffee and cocoa agroforestry systems. *Agroforestry Systems*. <https://doi.org/10.1007/s10457-022-00784-1>
- Stevenson, C., Corven, J., & Villanueva, G. (1993). *Manual para análisis de cacao en laboratorio*. IICA.
- Torres, C. A. V., Ocampo, R. D., Rodríguez, W. M., Velasco, R. S., Chang, J. F. V., & Cedeño, C. B. (2016). Utilización del mucílago de cacao, tipo nacional y trinitario, en la obtención de jalea. *Revista ESPAMCIENCIA ISSN 1390-8103*, 7(1), 51-58. [http://190.15.136.171/index.php/Revista\\_ESPAMCIENCIA/article/view/116/99](http://190.15.136.171/index.php/Revista_ESPAMCIENCIA/article/view/116/99)
- Velez Peñafiel, M. K. (2021). *Balance entre la biomasa aérea y el rendimiento de los clones de cacao (Theobroma cacao L.) Pma-12 y eet-801 en la zona de buena fe Quevedo: UTEQJ*.
- Venegas, F., & Munoz, R. (1984). *Malezas tropicales del Litoral ecuatoriano*. INIAP Archivo Historico.
- Villa, M. A. G., Aguilar, E. E. J., & Morales, J. F. B. (2022). Control biológico de la mazorca negra (Phytophthora Palmivora L.) En el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.). *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 5(3), 149-154.
- Weatherspark.com. (2016). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Yantzaza*.
- Wickramasuriya, A. M., & Dunwell, J. M. (2018). Cacao biotechnology: current status and future prospects. *Plant biotechnology journal*, 16(1), 4-17. <https://doi.org/10.1111/pbi.12848>
- Zuidema, P. A., Leffelaar, P. A., Gerritsma, W., Mommer, L., & Anten, N. P. (2005). A physiological production model for cocoa (Theobroma cacao): model presentation,

validation and application. *Agricultural systems*, 84(2), 195-225.  
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.06.015>

## 11. Anexos

### Anexo 1. Análisis de suelos del terreno experimental en El Padmi.

Análisis de suelo realizado por INIAP el 27 de mayo del 2022, bajo encargo de miembros del macro proyecto “Comportamiento del cacao (*Theobroma cacao* L.), bajo diferentes condiciones de luminosidad en etapa inicial de producción en la Región sur del Ecuador” de la UNL”.

<u>Nutrientes</u>	<u>Valor</u>	<u>Unidad</u>
<b>N</b>	155	ppm
<b>P</b>	31	ppm
<b>S</b>	15	ppm
<b>K</b>	0.48	meq/100g
<b>Ca</b>	15.85	meq/100g
<b>Mg</b>	2.17	meq/100g
<b>Zn</b>	6.1	ppm
<b>Cu</b>	5.8	ppm
<b>Fe</b>	297	ppm
<b>Mn</b>	1.3	ppm
<b>B</b>	0.90	ppm

**Anexo 2. Análisis de varianza ANOVA, diferencia de medias y prueba de Tukey para las variables.**

**Variables morfológicas y productivas de fruto y semilla**

Nueva tabla : 1/8/2023 - 22:13:55 - [Versión : 30/4/2020]

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Frutos x planta	18	0.18	0.07	78.10

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	80.78	2	40.39	1.62	0.2303
% de sombra	80.78	2	40.39	1.62	0.2303
Error	373.50	15	24.90		
Total	454.28	17			

**Medias ajustadas, error estándar y número de observaciones**

Error: 24.9000 gl: 15

% de sombra	Medias	n	E.E.
35	8.83	6	2.04
0	6.67	6	2.04
80	3.67	6	2.04

# de frutos cosechados por UE, resultando en un p-valor > 0.05

Nueva tabla : 1/8/2023 - 22:41:24 - [Versión : 30/4/2020]

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
PROMEDIO Semillas	10	0.07	0.00	10.78

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9.31	2	4.66	0.28	0.7645
%Sombra	9.31	2	4.66	0.28	0.7645
Error	116.78	7	16.68		
Total	126.10	9			

**Medias ajustadas, error estándar y número de observaciones**

Error: 16.6833 gl: 7

%Sombra	Medias	n	E.E.
35	39.33	3	2.36
80	37.50	3	2.36
0	37.08	4	2.04

Número de semillas por fruto, p-valor > 0.05

Nueva tabla : 1/8/2023 - 23:06:45 - [Versión : 30/4/2020]

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Peso Prom Mazorca	10	0.21	0.00	40.28

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	100707.99	2	50354.00	0.93	0.4371
%Sombra	100707.99	2	50354.00	0.93	0.4371
Error	377500.95	7	53928.71		
Total	478208.95	9			

**Medias ajustadas, error estándar y número de observaciones**

Error: 53928.7077 gl: 7

%Sombra	Medias	n	E.E.
0	645.58	4	116.11
35	637.63	3	134.08
80	423.30	3	134.08

Peso promedio de mazorca, p-valor > 0.05

Nueva tabla : 2/8/2023 - 22:19:53 - [Versión : 30/4/2020]

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Promedio	10	0.26	0.05	30.53

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5401.32	2	2700.66	1.24	0.3459
%Sombra	5401.32	2	2700.66	1.24	0.3459
Error	15243.35	7	2177.62		
Total	20644.67	9			

**Medias ajustadas, error estándar y número de observaciones**

Error: 2177.6214 gl: 7

%Sombra	Medias	n	E.E.
0	170.32	4	23.33
35	164.85	3	26.94
80	117.50	3	26.94

Peso contenido de mazorca en fresco, p-valor > 0.05.

Nueva tabla : 2/8/2023 - 22:42:57 - [Versión : 30/4/2020]

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Promedio	10	0.06	0.00	26.15

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	91.23	2	45.61	0.24	0.7908
%Sombra	91.23	2	45.61	0.24	0.7908
Error	1315.38	7	187.91		
Total	1406.60	9			

**Medias ajustadas, error estándar y número de observaciones**

Error: 187.9108 gl: 7

%Sombra	Medias	n	E.E.
35	56.49	3	7.91
0	52.14	4	6.85
80	48.71	3	7.91

Peso contenido de mazorca en seco, p-valor > 0.05

Nueva tabla : 2/8/2023 - 22:58:41 - [Versión : 30/4/2020]

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Peso prom semilla	10	0.43	0.27	23.58

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3.93	2	1.96	2.66	0.1384
%Sombra	3.93	2	1.96	2.66	0.1384
Error	5.17	7	0.74		
Total	9.10	9			

**Medias ajustadas, error estándar y número de observaciones**

Error: 0.7392 gl: 7

%Sombra	Medias	n	E.E.
0	4.12	4	0.43
35	3.97	3	0.50
80	2.69	3	0.50

Peso promedio de semilla en fresco, p-valor > 0.05

Nueva tabla : 2/8/2023 - 23:09:39 - [Versión : 30/4/2020]

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Peso prom semilla	10	0.27	0.06	16.70

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.15	2	0.08	1.31	0.3294
%Sombra	0.15	2	0.08	1.31	0.3294
Error	0.40	7	0.06		
Total	0.56	9			

**Medias ajustadas, error estándar y número de observaciones**

Error: 0.0578 gl: 7

%Sombra Medias n E.E.

35	1.54	3	0.14
0	1.50	4	0.12
80	1.25	3	0.14

Peso promedio de semilla en seco, p-valor > 0.05

## Variables productivas de la planta

Nueva tabla : 2/8/2023 - 23:36:30 - [Versión : 30/4/2020]

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
IM Fresco	10	0.40	0.23	42.14

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	56.11	2	28.06	2.34	0.1665
%Sombra	56.11	2	28.06	2.34	0.1665
Error	83.86	7	11.98		
Total	139.97	9			

**Medias ajustadas, error estándar y número de observaciones**

Error: 11.9800 gl: 7

%Sombra	Medias	n	E.E.
80	11.83	3	2.00
0	6.75	4	1.73
35	6.55	3	2.00

Índice de mazorca en fresco (baba), p-valor > 0.05

Nueva tabla : 2/8/2023 - 23:44:43 - [Versión : 30/4/2020]

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
IM Seco	10	0.24	0.02	24.59

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	48.32	2	24.16	1.08	0.3887
%Sombra	48.32	2	24.16	1.08	0.3887
Error	155.90	7	22.27		
Total	204.22	9			

**Medias ajustadas, error estándar y número de observaciones**

Error: 22.2714 gl: 7

%Sombra	Medias	n	E.E.
80	22.38	3	2.72
0	18.54	4	2.36
35	16.88	3	2.72

Índice de mazorca en seco, p-valor > 0.05

Nueva tabla : 5/8/2023 - 21:45:36 - [Versión : 30/4/2020]

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Prod FRESCO Kg	10	0.54	0.41	57.19

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5.11	2	2.55	4.13	0.0653
%Sombra	5.11	2	2.55	4.13	0.0653
Error	4.32	7	0.62		
Total	9.43	9			

### Medias ajustadas, error estándar y número de observaciones

Error: 0.6175 gl: 7

%Sombra	Medias	n	E.E.
35	2.32	3	0.45
0	1.34	4	0.39
80	0.48	3	0.45

Producción en fresco (kg) de cosecha de 2023, p-valor > 0.05

Nueva tabla : 5/8/2023 - 22:57:21 - [Versión : 30/4/2020]

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Prod SECO Kg	10	0.53	0.40	58.28

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.57	2	0.29	3.94	0.0715
%Sombra	0.57	2	0.29	3.94	0.0715
Error	0.51	7	0.07		
Total	1.08	9			

### Medias ajustadas, error estándar y número de observaciones

Error: 0.0728 gl: 7

%Sombra	Medias	n	E.E.
35	0.80	3	0.16
0	0.42	4	0.13
80	0.19	3	0.16

Producción en seco (kg) de cosecha de 2023, p-valor > 0.05

Nueva tabla : 23/8/2023 - 23:09:12 - [Versión : 30/4/2020]

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
REND ESTIMADO FRESCO Kg/ h..	10	0.58	0.45	56.70

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2481118.64	2	1240559.32	4.74	0.0500
%Sombra	2481118.64	2	1240559.32	4.74	0.0500
Error	1833571.92	7	261938.85		
Total	4314690.55	9			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1178.29478**  
 Error: 261938.8455 gl: 7

%Sombra	Medias	n	E.E.
35	1573.11	3	295.49 A
0	858.85	4	255.90 A B
80	290.31	3	295.49 B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

Rendimiento estimado fresco calculado en kg por hectárea, con diferencias significativas entre los tratamientos. p-valor < 0.05

Experimento%Seco%Rend Seco Exp.IDB2 : 23/8/2023 - 23:20:20 - [Versión : 30/4/2020]

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
REND ESTIMADO SECO Kg/ ha-..	10	0.56	0.43	58.10

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	366612.75	2	183306.38	4.42	0.0575
%Sombra	366612.75	2	183306.38	4.42	0.0575
Error	290584.78	7	41512.11		
Total	657197.54	9			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=469.07405**  
 Error: 41512.1118 gl: 7

%Sombra	Medias	n	E.E.
35	617.91	3	117.63 A
0	316.62	4	101.87 A B
80	128.77	3	117.63 B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

Rendimiento estimado seco calculado en kg al año por hectárea, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos p-valor < 0.05

## Variables fisiológicas y de crecimiento del cacao

Nueva tabla : 9/8/2023 - 20:57:11 - [Versión : 30/4/2020]

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
DIÁMETRO (m)	17	0.29	0.19	14.35

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.31	2	0.15	2.92	0.0870
% Sombra	0.31	2	0.15	2.92	0.0870
Error	0.74	14	0.05		
Total	1.05	16			

**Medias ajustadas, error estándar y número de observaciones**

Error: 0.0528 gl: 14

% Sombra	Medias	n	E.E.
0	1.78	6	0.09
35	1.55	6	0.09
80	1.45	5	0.10

Diámetro de copa 126 DDT, p-valor > 0.05

Nueva tabla : 8/8/2023 - 22:39:41 - [Versión : 30/4/2020]

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
IAF	18	0.05	0.00	58.82

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.08	2	0.04	0.37	0.6974
% de sombra	0.08	2	0.04	0.37	0.6974
Error	1.61	15	0.11		
Total	1.69	17			

**Medias ajustadas, error estándar y número de observaciones**

Error: 0.1074 gl: 15

% de sombra	Medias	n	E.E.
35	0.65	6	0.13
0	0.52	6	0.13
80	0.50	6	0.13

Índice de área foliar 126 DDT, p-valor > 0.05

Nueva tabla : 8/8/2023 - 23:19:21 - [Versión : 30/4/2020]

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
SPAD	18	0.23	0.12	9.46

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	101.69	2	50.84	2.21	0.1439
% Sombra	101.69	2	50.84	2.21	0.1439
Error	344.79	15	22.99		
Total	446.48	17			

**Medias ajustadas, error estándar y número de observaciones**

Error: 22.9863 gl: 15

% Sombra	Medias	n	E.E.
80	54.03	6	1.96
0	49.14	6	1.96
35	48.84	6	1.96

Contenido de clorofila expresado en unidades SPAD, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos a los 126 DDT.

### Anexo 3. Evidencia fotográfica



Foto 1. Niveles de sombra por tratamiento establecidos en campo.



Foto 2. Medición de variables de peso fresco y seco en almendras de cacao (fase laboratorio)



Foto 3. Conteo de número total de frutos cosechados por UE.



Foto 4. Medición de pesos y número de semillas por mazorca según el tratamiento.



Foto 5. Medición de radiación con piranómetro PAR dentro y fuera de la malla raschel de tratamientos.



Foto 6. Medición de ancho de hojas para su posterior cálculo en IAF.



Foto 7. Medición de concentración de clorofila con equipo SPAD.



Disipación del éter de la muestra en estufa (105°C \* 1 h)

Pesaje del contenido

Foto 8. Determinación del contenido de grasa (extracto etéreo) de las almendras secas de cacao.



Foto 9. Titulación para determinación de proteína cruda de las almendras secas de cacao.



Foto 10. Procedimientos para determinación de materia seca, % humedad y cenizas de las almendras secas de cacao.



Foto 11. Preparación de muestras para la obtención de °brix, pH y acidez titulable del mucílago de cacao.

## Anexo 4. Certificado de traducción del resumen

### CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN DEL RESUMEN

Loja, 23 de enero del 2024

Yo, Livia Rosario Vega Luzuriaga, con número de cédula 1103259428 y con título de licenciada en Ciencias de la Educación, especialidad de idioma inglés, registrado en el SENESCYT con número 1008-15-1403516

#### CERTIFICO:

Que he traducido minuciosamente el Resumen del Trabajo de Titulación titulado:

**"Evaluación de tres niveles de sombra sobre la fase productiva de cacao (*Theobroma cacao* L) clon EETP 801 en la estación experimental El Padmi provincia de Zamora Chinchipe"**, de autoría del estudiante **Anderson Fernando Cumbicos Sarango**, portador de la cedula de identidad: 1900692508, egresado de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Renovables de la Universidad Nacional de Loja, previo a la obtención de **Ingeniero Agrónomo**.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente para fines pertinentes.

Atentamente:



Lic. Livia Rosario Vega Luzuriaga

C.I.1103259428

Celular: 0988513538

Correo: liviavega10@gmail.com