

Evaluación del efecto de dos tipos de sombrío en *Theobroma cacao* L. en el municipio de  
Saravena, Arauca.

Gisselle Mariana Jaimes Ramírez y Cielo Daniela Méndez Pimiento

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniera Forestal

Director

María Constanza Meza Elizalde

MSc. Manejo, uso y conservación de bosque

Codirector

Rubén Carvajal Caballero

Ingeniero Agrónomo

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia

Ingeniería forestal

Bucaramanga

2020

### **Agradecimientos**

*A la Universidad Industrial de Santander y por ser nuestra alma mater y permitirnos culminar esta etapa como miembros de esta importante institución, quien nos acogió durante estos años de estudio.*

*A nuestra directora MSc. María Constanza Meza Elizalde por su compromiso y su paciencia y dirección en este proceso.*

*A nuestro codirector Ing. Rubén Carvajal por su acompañamiento.*

*A todos los profesores y administrativos de la institución por su contribución al logro de esta meta.*

*A la familia Jaimes Ramírez por su hospitalidad y amabilidad quienes nos proporcionaron apoyo en la fase de campo.*

### **Dedicatoria**

*A Dios principalmente, por darme capacidades para lograr y culminar esta hermosa carrera y esta etapa importante en mi vida.*

*A mis padres, Cielo Ivon Pimiento y Álvaro Méndez Gómez por forjarme y brindarme todo el apoyo en todo este proceso ¡Es de ustedes y para ustedes!*

*A mi hijo, Kadyket Pérez por estar a mi lado y ser mi motivación para lograr mi proceso de formación.*

*A mi tía, Ruby Pimiento por acogerme en todo este camino de formación.*

*A mis amigos Martha Torres, Claudia Castellanos, Dania Duarte, Laura Silva, Carolina Lozano y Daniel Rincón por su ayuda, apoyo y amor.*

*A mis compañeros, por su amabilidad, amor y apoyo que me brindaron en los años de estudio.*

*A mi amiga y compañera de tesis Gisselle Mariana Jaimes Ramírez quien me ha acompañado y fue parte fundamental de esta meta.*

*Y demás familiares y amigos que me acompañaron en la culminación de esta etapa.*

***Cielo Daniela Méndez Pimiento***

### **Dedicatoria**

*A Dios principalmente, por darme las capacidades para lograr y culminar esta hermosa carrera  
y esta etapa importante en mi vida.*

*A mis padres, Agustín Jaimes Carrillo y Ludy Marina Ramírez Lizcano por forjarme y  
brindarme todo el apoyo en todo este proceso ¡Es de ustedes y para ustedes!*

*A mi hermana, Margareth Norangie Jaimes Ramírez por toda su comprensión y ánimo.*

*A mis amigas Claudia Castellanos y Stefany Corzo por su ayuda, apoyo y amor.*

*A mis compañeros, por su amabilidad, amor y apoyo que me brindaron en los años de estudio.*

*A mi amiga y compañera de tesis Cielo Daniela Méndez Pimiento quien me ha acompañado y  
fue parte fundamental de esta meta.*

*Y a mis abuelos, tíos, primos, vecinos y amigos que me acompañaron y apoyaron en la  
culminación de esta etapa.*

***Gisselle Mariana Jaimes Ramírez***

## Contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción.....	13
1. Objetivos.....	15
1.1 Objetivo general.....	15
1.2 Objetivos específicos.....	15
2. Marco Referencial.....	16
2.1 Marco teórico.....	16
2.1.1 Sistemas agroforestales.....	16
2.1.1.1 <i>Theobroma cacao</i> (Lineo).....	17
2.1.1.2 Clon de cacao FTA 2 (Fedecacao Tame 2).....	17
2.1.1.3 <i>Samanea saman</i> (Jacq Merr).....	17
2.1.1.4 <i>Schzolobium parahyba</i> (Vell.) SF Blake.....	18
2.1.1.5 <i>Pseudosamanea guachapele</i> (Kunth).....	19
2.1.1.6 <i>Cordia alliodora</i> (Ruiz y Pav.) Oken.....	19
2.1.1.7 <i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp.....	20
2.1.1.8 <i>Acacia mangium</i> (Willd).....	21
2.1.2 Sombrío del cacao.....	21
2.1.3 Rasgos funcionales.....	22
2.2 Marco histórico.....	23
2.3 Marco conceptual.....	25

2.4 Marco legal .....	27
3. Metodología .....	28
3.1 Área de estudio.....	28
3.2 Muestreo .....	31
3.2.1 Características estructurales de los árboles de sombrío.....	32
3.2.1.1 Fase de campo .....	32
3.2.1.2 Fase de laboratorio .....	33
3.2.2 Variables estructurales en el <i>Theobroma cacao</i> .....	34
3.2.2.1 Fase de campo .....	34
3.2.2.2 Fase de laboratorio .....	35
3.2.3 Rasgos funcionales .....	36
3.2.3.1 Fase de campo.....	36
Rasgos hidráulicos y biomecánicos del tallo .....	37
3.2.3.2 Fase de laboratorio .....	37
3.2.4 Estado fitosanitario de las plantas de <i>Theobroma cacao</i> . .....	39
3.2.4.1 Fase de campo .....	40
3.2.4.2 Fase de laboratorio .....	42
3.3 Análisis de datos .....	43
4. Resultados.....	43
4.1 Efecto del sombrío sobre las características estructurales.....	45
4.2 Efecto de los dos tipos de sombrío sobre los rasgos funcionales del <i>Theobroma cacao</i> L. ....	56
4.3 Efecto del sombrío sobre el estado fitosanitario del <i>Theobroma cacao</i> .....	60
5. Discusión .....	63

6. Conclusiones.....	65
Referencias Bibliográficas.....	66
Apéndices .....	73

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Mapa de la ubicación del sistema Agroforestal, en el municipio de Saravena, Arauca.	30
Figura 2. Mapa del plano del sistema agroforestal, municipio de Saravena, Arauca. ....	32
Figura 3. Variabilidad de la altura total del árbol entre los dos tipos de sombrío .....	46
Figura 4. Variabilidad del diámetro a la altura del pecho entre los dos tipos de sombrío .....	47
Figura 5. Variabilidad del diámetro de copa entre los dos tipos de sombrío. ....	48
Figura 6. Variabilidad de la altura de la planta entre los dos tipos de sombrío.....	49
Figura 7. Variabilidad de la circunferencia del tallo de la planta de Cacao entre los dos tipos de sombrío.....	50
Figura 8. Variabilidad del diámetro del tallo de la planta de Cacao entre los dos tipos de sombrío.....	51
Figura 9. Variabilidad del diámetro de la corona foliar de la planta de Cacao entre los dos tipos de sombrío. ....	52
Figura 10. Variabilidad del porcentaje de sombra entre los dos tipos de sombrío. ....	53
Figura 11. Variabilidad de la temperatura entre los dos tipos de sombrío.....	54
Figura 12. Variabilidad del contenido volumétrico de agua de cada planta entre los dos tipos de sombrío.....	55
Figura 13. Variabilidad del pH entre los dos tipos de sombrío. ....	55
Figura 14. Variabilidad del área foliar entre los dos tipos de sombrío .....	56

Figura 15. Variabilidad del área foliar específica entre los dos tipos de sombrío.....57

Figura 16. Variabilidad del contenido foliar de materia seca entre los dos tipos de sombrío.....58

Figura 17. Variabilidad del espesor foliar entre los dos tipos de sombrío .....58

Figura 18. Variabilidad de la densidad de la madera entre los dos tipos de sombrío .....59

Figura 19. Variabilidad del contenido máximo de agua en el tallo entre los dos tipos de  
sombrío.....60

Figura 20. Variabilidad entre la incidencia de escobas y monilia entre los dos tipos de  
sombrío.....61

Figura 21. Gráfica de componentes principales del *Theobroma cacao* entre los dos tipos de  
sombrío.....62

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Ubicación, establecimiento del sistema, coordenadas geográficas y extensión del área de estudio .....	29
Tabla 2. Zona de vida del área de estudio según Holdridge.....	30
Tabla 3. Escala de desarrollo de la escoba de bruja.....	40
Tabla 4. Escala de severidad para Moniliasis- Clasificación .....	41
Tabla 5. Escala de severidad para Moniliasis-Sintoma.....	42
Tabla 6 Variabilidad entre tipos de sombrío .....	44

## Resumen

**Título:** Evaluación del efecto de dos tipos de sombrío en *Theobroma cacao* L. en el municipio de Saravena, Arauca\*.

**Autor:** Gisselle Mariana Jaimes Ramírez, Cielo Daniela Méndez Pimiento\*\*

**Palabras Claves:** Rasgos funcionales, sistemas agroforestales, conservación, producción.

### Descripción:

Los sistemas agroforestales son relevantes al momento de optimizar la producción del territorio, mediante una explotación diversificada, en donde las especies arbóreas involucradas desempeñan una importante función, tales como proveer madera, alimento, materia orgánica, postes, aceites y resinas, entre otras; además de suministrar servicios ecológicos para el mejoramiento del microclima, captura de carbono, recuperación de tierras degradadas y estabilización de cuencas (Arcila, 2007).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de dos tipos de sombrío en *Theobroma cacao*-FTA 2 (Fedecacao Tame 2), establecidos en el sistema agroforestal ubicado en la finca la primavera, en Saravena, Arauca. Donde se analizaron 100 individuos de cacao y 20 árboles de dos tipos de sombrío (mixto y *Acacia mangium*), para tal evaluación se realizaron mediciones de las características estructurales del sombrío y del cacao, además del diagnóstico del estado fitosanitario de cada planta y la determinación de algunos rasgos foliares e hidráulicos, junto con algunas variables ambientales como Temperatura y Humedad. En donde se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) importantes en algunas de las variables, evidenciando óptimos resultados del sombrío mixto sobre las características estructurales y rasgos funcionales de las plantas de cacao, además de la presencia de bajos porcentajes en la incidencia de Escobas y de Monilia.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal. Director: María Constanza Meza Elizalde, Magíster en Manejo, Uso y Conservación del Bosque. Codirector: Rubén Carvajal Caballero & María Constanza Meza Elizalde

### Abstract

**Title:** Evaluation of the two types of shadow on *Theobroma cacao* L. in the municipality of Saravena, Arauca\*.

**Author:** Gisselle Mariana Jaimes Ramírez, Cielo Daniela Méndez Pimiento\*\*

**Key Words:** Functional traits, agroforestry systems, conservation, production.

### Description:

Agroforestry systems are relevant when optimizing the production of the territory, through a diversified exploitation, where the tree species involved play an important role, such as providing wood, food, organic matter, posts, oils and resins, among others; in addition to providing ecological services for the improvement of the microclimate, carbon capture, recovery of degraded land and stabilization of basins (Arcila, 2007).

The objective of this study was to evaluate the effect of two types of shade in *Theobroma cacao* - FTA 2 (Fedecacao Tame 2), established in the agroforestry system located in the spring farm, in Saravena, Arauca. Where 100 individuals of cocoa and 20 trees of two types of shade (mixed and *Acacia mangium*) were analyzed, for such evaluation measurements of the structural characteristics of the shade and cocoa were made, in addition to the diagnosis of the phytosanitary state of each plant and the determination of some foliar and hydraulic features, along with some environmental variables such as temperature and humidity. Where there were found significant differences ( $p < 0.05$ ) in some of the variables, evidencing good results of mixed shade on the structural characteristics and functional features of cocoa plants, besides the presence of low percentages in the incidence of Brooms and *Monilia*.

---

\* Degree work

\*\* Institute for Regional Projection and Distance Education. Forest Engineering Program. Director: María Constanza Meza Elizalde, Magíster en Manejo, Uso y Conservación del Bosque. Codirector: Rubén Carvajal Caballero & María Constanza Meza Elizalde

## Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L), es un árbol umbrófilo, es decir, requiere sombra para su desarrollo, su fisiología y metabolismo se adapta a condiciones de baja luminosidad, tanto en la fase de establecimiento como en la productiva. (Martínez & Enríquez, 1981). Se ha convertido en un tema de gran importancia en el sector agrícola de diferentes países, debido a sus múltiples usos. (Jaimez et al., 2008). La mayoría de estos cultivos se encuentran establecidos junto con árboles frutales o maderables, estos además proveer sombra pueden generar ingresos extras al cacaocultor (Agudelo et al., 2018).

En la actualidad en Colombia se cultivan diversas variedades de cacao, en diferentes tipos de climas que van desde los secos hasta los húmedos. El clon que se estudiado es el FTA-2, el cual tiene propiedades principales la alta productividad, de la tolerancia a las principales plagas y enfermedades como lo son la monilia y escoba de bruja, tuvo su origen en el municipio de Tame, Arauca.

En el sistema agroforestal estudiado, se evaluaron dos tipos de sombrío, el primero sombrío mixto el cual cuenta con las especies: *Samanea saman* (Jacq Merr), *Schzolobium parahyba* (Vell.), *Pseudosamanea guachapele*, *Cordia alliodora* (Ruiz y Pav.), *Gliricidia sepium* (Jacq.), el segundo sombrío con *Acacia mangium* (Willd). Los árboles que se utilizan como sombrío son de gran importancia, ya que aportan materia orgánica al suelo por medio de la hojarasca, la cual libera nutrientes, además de mejorar las propiedades físicas del terreno (Aguilera, 1978), dar una mayor longevidad a la plantación (Alvim, 1958) e interceptar las lluvias (Dubois, 1978).

Por lo anterior, se consideró importante evaluar el efecto de dos tipos de sombrío sobre el cacao, variedad FTA-2, por medio de los rasgos funcionales los cuales, son características morfológicas, fisiológicas, químicas o fenológicas de las plantas, ocasionadas por efectos del entorno (Garnier & Navas, 2012); estos enfatizan en los componentes del rendimiento de la plantación, además de proporcionar investigación de valor e importancia para la parte agroforestal, por ende, ayuda a comprender las causas y consecuencias de los cambios en la estructura y función de sistema logrando identificar las especies más recomendadas para sombrío en los sistemas agroforestales establecidos con cacao en la región de la Orinoquía. Además de contribuir para futuros estudios sobre este tema y también permitir que los cacaoteros puedan tener mejores cultivos y óptimas producciones.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo general**

Determinar el efecto de dos tipos de sombrío en cacao

### **1.2 Objetivos específicos**

- Evaluar el efecto del sombrío sobre las características estructurales de las plántulas de cacao.
- Identificar el efecto de los dos tipos de sombrío sobre los rasgos funcionales del *Theobroma cacao* L.
- Diagnosticar el estado fitosanitario del *Theobroma cacao* L.

## **2. Marco Referencial**

### **2.1 Marco teórico**

Colombia cuenta con una amplia actividad cacaotera de importancia socioeconómica, debido a que aproximadamente 35.000 familias campesinas dependen de forma directa de este cultivo, el cual presenta un rendimiento de 0,35 toneladas por hectárea de grano (UGRA, 2018), cifra que posee gran significancia y relevancia para el sector cacaotero nacional; por lo tanto, esta especie es considerada una gran oportunidad para el país (Álvarez et al., 2015)

#### ***2.1.1 Sistemas agroforestales.***

Son conjuntos complejos de ecosistemas, consiste en una relación árbol-cultivo. Actualmente se ha ampliado la investigación de sistemas de producción con variedades de especies de plantas cultivadas y no cultivadas (Wezel & Soldat, 2009). Los sistemas productivos generan beneficios a corto y a largo plazo ambiental, de seguridad alimentaria, conservación de la biodiversidad, la sostenibilidad ecológica, fijación de carbono y el mejoramiento socio-económico de la población.

En los sistemas agroforestales hay interacciones entre árboles, personas y agricultura, donde se manejan sistemas y tecnologías para el uso de la tierra ya sea en el campo agrícola, finca

o región, en las cuales se presenta la producción de cultivos con especies forestales (IDEAM, 2011) , de forma tal que se demuestre la influencia o efectos que se generen de esta relación.

**2.1.1.1 *Theobroma cacao* (Lineo).** De acuerdo con Doster et al. (2016), el cultivo de cacao *Theobroma cacao* L, pertenece a la familia Malvaceae; Es un árbol semicaducifolio que puede alcanzar de 4 a 8 metros de altura. La corteza es gris oscuro a café, las hojas son simples, coriáceas y ligeramente asimétricas. El fruto es una baya (mazorca) de 20 a 35cm de largo aproximadamente. Esta especie se caracteriza por ser umbrófila, es decir, requiere sombra para su desarrollo (Martínez & Enríquez, 1981).

En la actualidad en Colombia se cultivan diversas variedades de cacao, en diferentes tipos de climas que van desde los secos hasta los húmedos. Este cultivo predomina en zonas rurales con conflictos sociales y altos índices de pobreza; asimismo cuenta con características agroecológicas en términos de clima y humedad, al complementarse como sistema agroforestal ayuda a la conservación del medio ambiente (Fedecacao & Pronatta, 2014).

**2.1.1.2 Clon de cacao FTA 2 (Fedecacao Tame 2).** El clon FTA-2 tiene propiedades principales la alta productividad, además de la tolerancia a las principales plagas y enfermedades como lo son la monilia y escoba de bruja. Tuvo su origen en el municipio de Tame, Arauca. Presenta un rendimiento aproximado de 1.569 kg/Ha/año, con 28 frutos por árbol, un índice de grano de 1,8 g/grano y de mazorca 16, es auto incompatible (Martinez, 2016).

**2.1.1.3 *Samanea saman* (Jacq Merr).** Esta especie en su hábitat natural puede alcanzar entre 10 y 25 m de altura. La copa es amplia, simétrica y está soportada por ramas horizontales

que se extienden ampliamente en forma de sombrilla, con follaje plumoso; su corteza es rugosa, pardo grisáceo, con líneas horizontales; el tronco es irregular y retorcido; posee hojas compuestas, alternas, con raquis. Durante los períodos secos, los árboles son semi-decíduos, y pierden sus hojas en poco tiempo (FAO, 2014). Se ha cultivado a través de los trópicos principalmente como árbol de sombra, las vainas son usadas como forraje (Delgado et al., 2014). Esta especie se desarrolla de mejor manera en lugares con precipitaciones por encima de los 1000 mm y en sitios con altitudes por debajo de los 500msnm. Aunque tolera arcillas pesadas y suelos infértiles, crece mejor en suelos aluviales, fértiles y neutros a moderadamente ácidos (Durango & Durango Galeano, 2020).

La madera del *Samanea saman* es de alta calidad, por lo tanto es usada para muchos propósitos, entre los cuales se destaca la fabricación de muebles, paneles, chapas decorativas, tornería y bandejas; se usa también para cercas, construcciones y barcos (Doria et al., 2020; Delgado et al., 2014).

**2.1.1.4 *Schizolobium parahyba* (Vell.) SF Blake.** Este árbol normalmente presenta una altura de 20 a 30m y un diámetro entre 60 a 80 cm, con un tronco cilíndrico y recto; su corteza es lisa, grisácea (adulta) y verde (joven); la floración se da a partir de septiembre – noviembre con la planta parcialmente desprovista de hojas y sus frutos aparecen en julio (*Schizolobium parahyba*) (ITTO, 2020)

En la última década ha sido incentivado el cultivo de esta especie, ya que posee varias bondades, entre las cuales se destacan su rápido crecimiento, adaptabilidad a condiciones de baja fertilidad, acidez del suelo y drenaje pobre. Al pertenecer a las leguminosas, es considerada nitrificadora, por ello, es muy útil para la recuperación de suelos empobrecidos (Posada et al., 2003).

Además, es usada para diversas actividades como la forestería, agroforestería, paisajismo, construcción de embarcaciones, ebanistería y embalajes livianos (Espitia et al., 2020).

**2.1.1.5 *Pseudosamanea guachapele* (Kunth).** Árbol de 15 a 25 metros de altura, corteza fuertemente fisurada, que se desprende por placas. Copa amplia y aparasolada; las hojas son compuestas, alternas y bipinnadas, con 3 a 7 pares de pinnas, el raquis es veloso con numerosas glándulas, los foliolos pueden ser 5 a 7 pares, de base inequilatera y pubescentes por el envés. Las inflorescencias son cabezuelas terminales, de 15 a 20 cm de largo, las flores poseen numerosos estambres color blanco a crema. El fruto es una legumbre recta, aplanada, inmadura de color verde y café al madurar, con semillas planas café (Hurtado, 2017).

Esta especie se distribuye desde el sureste de México hasta Ecuador, creciendo entre los 0-1.500 m.s.n.m. Su madera es de color amarillo, medianamente dura, usada en ebanistería y construcciones. Pertenece a las leguminosas, por lo tanto, es considerada recuperadora de suelos, fijadora de nitrógeno y forrajera. Por su porte y copa es propicia como ornamental en zonas urbanas muy amplias como parques, retiros de quebradas, glorietas y zonas amplias (Uribe, 2019)

**2.1.1.6 *Cordia alliodora* (Ruiz y Pav.) Oken.** Árbol de 25-80 cm de diámetro y 18-35 m de altura total (Mamani, 2019); Con hojas simples, alternas, margen entero y pubescencia corta. Las flores están dispuestas en panículas terminales, con pétalos y filamentos blancos, anteras cafés. Los frutos son secos, elipsoides, envueltos por la corola y el cáliz persistente, los cuales contienen una semilla, que son dispersados por el viento (Hurtado, 2017). El fuste es cilíndrico, su ramificación inicia desde el segundo tercio, presenta aletas pequeñas en la base del fuste. La corteza externa es agrietada regularmente y de color marrón claro a cenizo (Mamani, 2019).

Esta especie es valorada en el trópico americano por las características de aserrado, secado y torneado de su madera. Además de sus propiedades maderables, es apreciada por su abundante repoblación natural, autopoda eficiente y por su rápido crecimiento (Pineda et al., 2018).

El 77% de los sistemas agroforestales de Centro y Sudamérica contienen componentes arbóreos por sus cualidades maderables y ecológicas, donde *Cordia alliodora*, es una de las especies comúnmente asociada a cultivos como cacao, plátano y café (Pineda et al., 2018).

**2.1.1.7 *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp.** Árbol de 4 a 12 metros de altura, con hojas compuestas, imparipinnadas, alternas, folíolos 5– 20, generalmente opuestos, de margen entero, haz glabra, envés escasamente pubescente y casi siempre con manchas moradas al secarse. Inflorescencias en racimos, ubicados en las ramas.

Flores pentámeras con cáliz verde, dientes cortos, pétalos de color rosado, estandarte con centro amarillo. Los frutos son legumbres dehiscentes, aplanadas, inmaduras de color verde y café-amarillento al madurar, con 4 a 10 semillas café-amarillentas a café-rojizo oscuras (Hurtado, 2017).

Las hojas del *Gliricidia sepium* son utilizadas como forraje, puesto que son fuente protéica en la alimentación de rumiantes. Las flores son visitadas por las abejas, dada su condición melífera.

Esta especie presenta una alta adaptabilidad y tolerancia a los tipos de suelo, ayuda a mejorar la calidad del suelo mediante la fijación de nitrógeno, el ciclo de nutrientes y el control de la erosión, por lo tanto, es ideal para usarse en programas de restauración. (Andrade, 2015; Hurtado, 2017)

**2.1.1.8 *Acacia mangium* (Willd).** El árbol de acacia (*Acacia mangium*) es una leguminosa de la familia Mimosaceae, con rápido crecimiento, puede alcanzar los 30 metros de altura y diámetros mayores a 50 cm. Su ciclo de vida dura máximo 50 años. La copa es de forma columnar en plantaciones cerradas y las ramas en la parte inferior se caen de forma natural cuando sobre pasa cierta edad, este fenómeno se da cuando el dosel está completamente cerrado; tiene su corteza rugosa y color gris.

Es una especie que no tolera la sombra, tiene mejor crecimiento en lugares fértiles con buen drenaje, pero se adapta a suelo con baja fertilidad y sin drenaje. Se han plantado como cortinas rompevientos en sistemas agroforestales en caminos y cercas. (Useche & Azurero, 2013), siendo una de las especies más utilizadas y aceptadas por los centros de investigación, fundaciones y productos de la región de la Orinoquia con buenos resultados para los sistemas productivos.

### **2.1.2 *Sombrío del cacao.***

Los árboles que se utilizan como sombrío son de gran importancia, ya que aportan materia orgánica al suelo por medio de la hojarasca, la cual libera nutrientes, además de mejorar las propiedades físicas del terreno (Aguilera, 1978), dar una mayor longevidad a la plantación (Alvim, 1958) e interceptar las lluvias (Dubois, 1978). Se considera un buen sombrío cuando se contribuye a aumentar la maduración de los frutos y la floración; para poder lograrlo influye la transpiración directa e indirectamente, las condiciones ambientales principalmente la radiación solar, temperatura y humedad atmosférica. También se debe tener presente el grado de sombra, aunque ha sido difícil conocerlo, debido que no se conoce el nivel de adaptabilidad lumínica del cacao para saber si es benéfico o perjudicial (Chamorro, 1952).

El sombrío es necesario en la fase de crecimiento y producción del cacao, puesto que cuando el cultivo está joven requiere poca intensidad de luz; ya que cuando esta es alta se retrasa el crecimiento y las hojas tiernas caen tempranamente. Ya en la etapa madura esta especie necesita más luz debido a su autosombreamiento hasta puede crecer a la exposición del sol sin evidenciar daño (Jiménez, 1980).

El cacao con sombrío demanda menos nutrientes por las bajas cantidades de los productos de fotosíntesis, porque requieren poco nitrógeno y fósforo para formar proteína, al igual que el potasio, ya que no es necesario estimular el crecimiento y acelerar la translocación de carbohidratos hacia el sistema radicular, concluyendo que por esta razón el cacao bajo sombra moderada tiene rendimientos (Aguilera, 1978).

Según Alvim en 1966 quien realizó un estudio en Costa Rica, donde observó que, con una temperatura del aire de 28 °C, intensidad de luz de 13.500 bujías/pie, y humedad relativa de 68 % la temperatura de una hoja puesta a la sombra es de 28 °C; la hoja al sol alcanza valores de 18

°C a 20 °C por encima de la temperatura del aire; este aumento tiene como consecuencia el aumento de la presión de vapor de agua dentro de los espacios intercelulares, forzando a los estomas a expulsarlo. De esta manera la transpiración de una hoja al sol es mayor de dos a tres veces, que la de una hoja a la sombra

### ***2.1.3 Rasgos funcionales.***

Los rasgos funcionales son características morfológicas, fisiológicas, químicas o fenológicas de las plantas, ocasionadas por efectos del entorno (Garnier & Navas, 2012); estos enfatizan en los componentes del rendimiento de la plantación, además de proporcionar

investigación de valor e importancia para la parte agroforestal, por ende, ayuda a comprender las causas y consecuencias de los cambios en la estructura y función de sistema. Teniendo esto en cuenta se puede mejorar la productividad, dinámica del sistema y vulnerabilidad agrícola al cambio de clima (Martin & Isaac, 2015)

Las variaciones en los caracteres funcionales de las plantas son útiles para comprender los patrones y procesos tanto evolutivos como ecológicos, además cuantifica los rasgos en los procesos de la especie y permite construir un conjunto predictivo de relación local, regional y global entre planta-ambiente (Pérez et al., 2016).

## **2.2 Marco histórico**

El cacao (*Theobroma cacao L*) es una planta que apareció hace 2600 años (Estrada et al., 2011) y fue utilizada inicialmente en México por los Aztecas y Mayas, (Jaimes & Aranzazu, 2010) éste país es señalado como posible centro de origen, pero sin ser confirmado, ya que además existen otros estudios al respecto donde se afirma que los primeros árboles de cacao nacieron en el Amazonas (Motamayor et al., 2002), del mismo modo que para otros investigadores el nicho de formación de esta especie fue al este de los andes (entre el sur del lago Maracaibo y el río Magdalena), de manera que lo único seguro es que el hábitat en el que se originó esta planta se encuentra en la franja del trópico de América (Estrada et al., 2011).

Las referencias históricas indican que nuestros antepasados utilizaban el cacao para preparar dulces, bebidas y principalmente como dinero con el que se podían comprar otros productos (Estrada et al., 2011); esto hizo que aumentará la necesidad de tener más cacao y por lo tanto se dio inicio al establecimiento de cultivos de esta planta (ProDeSoc, 2006). Cuando los

españoles llegaron a América, descubrieron la variedad de usos que le daban, así como las enormes cualidades presentes en los cultivos, hizo que se motivaran a llevarlo a África, plantarlo en las zonas de trópico húmedo y expandirlo a otros países (ProDeSoc, 2006).

Junto a este tipo de cultivo, a lo largo de la historia en América Tropical, muchas sociedades han trabajado en sus fincas sobre diferentes prácticas agrícolas y forestales, con el fin de obtener los efectos benéficos de la estructura del bosque (Nair, 1993). Por ejemplo, en América central, los agricultores reprodujeron la estructura y diversidad de especies en los bosques tropicales mediante el establecimiento de variedad de especies de plantas con diferente forma de crecimiento. Ellos en terrenos de un décimo de hectárea, sembraron dos docenas de especies de plantas en cada uno, correspondiendo a la configuración estratificada de los bosques tropicales: estableciendo papaya junto con un estrato más bajo de banano o cítricos, más un estrato arbustivo de café o cacao, cultivos anuales altos o bajos, tales como maíz, y finalmente una extensión de tierra cubierta de plantas tales como la calabaza” (López & Molina, 2007).

Aunque se habían efectuado estas mezclas arbóreas con cultivos alimenticios y combinaciones de árboles de sombra en campos de cacao, los primeros documentos sobre agroforestería en América central fueron realizados por Cook (1901), quien reconoció varias ventajas como la fijación de Nitrógeno y el aporte de materia orgánica de los árboles de sombra (particularmente leguminosas) en plantaciones de café. Además, en 1952, Chamorro recomendó el uso del sombrío, no sólo para el crecimiento y desarrollo sino también para su producción y longevidad, pero sin determinar el grado de sombra más aconsejable y conocer hasta qué punto puede ser benéfico o perjudicial. Otros autores que realizaron estudios sobre sistemas agroforestales fueron Pérez (1954), quien habló sobre el manejo del laurel (*Cordia alliodora*) en pastos y Alvim (1955), el cual buscó aclarar las funciones específicas del sombreado y

determinar si la planta de cacao desde el punto de vista fisiológico y ecológico se podría realmente considerar como una típica de sombra.

En 1970 La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) reconoce esta práctica e inicia la normalización de la misma, esto se da debido a los diferentes factores que se presentaron en aquel momento, como el crecimiento de la población, la crisis alimentaria y energética. Seis años después aparece este término en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) como parte de uno de los tres programas dentro del Departamento de Recurso Naturales Renovables, ya para el año 1977 el Centro Internacional de Desarrollo e Investigación (IDRC) y el CATIE crearon el Consejo Internacional para la investigación de la Agroforestería (ICRAF), quienes además sugirieron contar con una base científica y una serie de líneas de investigación tales como asociación de árboles con cultivos alimenticios, postes para cercas vivas, árboles de sombra en café y cacao, árboles maderables fijadores de nitrógeno en pasturas y uso de árboles para forraje (Nair, 1993; López & Molina, 2007).

### **2.3 Marco conceptual**

**Agroforestería.** “Es un área interdisciplinaria que incluye interacciones entre árboles, personas y agricultura, manejando una serie de sistemas y tecnologías del uso de la tierra en las que se combinan la producción de cultivos con especies forestales y/o animales.” (IDEAM, 2011).

**Agroecología.** “Emplea conceptos y principios ecológicos en el estudio, diseño y control de los sistemas agrícolas” (Barreiro, 2000).

**Área foliar.** “Es el área de una hoja, es la métrica más común para analizar tamaño de hoja, y se define como el área proyectada de una cara de la hoja individual, expresada en mm<sup>2</sup>” (Pérez et al., 2016).

**Área foliar específica.** “Es el área de una hoja fresca dividida por su peso seco” (Pérez et al., 2016).

**Contenido de materia seca foliar.** “Es el peso seco foliar (mg) obtenido luego de secar en estufa el material, dividido por el peso fresco foliar saturado de agua (g)” (Pérez et al., 2016).

**Densidad específica del tallo.** “Es el peso seco de una sección del tallo principal de una planta, dividido por el volumen verde (fresco) de esa misma sección” (Pérez et al., 2016)

**Ecología.** “Es la ciencia que estudia las relaciones existentes entre los organismos y su medio ambiente” (Barreiro, 2000).

**Especie forestal.** “Son plantas leñosas perennes con un solo tronco principal o, en el caso del monte bajo, con varios tallos, que tenga una copa más o menos definida” (Kleinn, 2000).

**Especie agrícola.** “Cultivos de frutales en varios estratos” (Barreiro, 2000).

**Espesor foliar.** “Es uno de los componentes del área foliar específica, además de ser un rasgo determinante de la resistencia física de las hojas” (Pérez et al., 2016).

**Rasgos funcionales.** “Son características morfológicas, fisiológicas, químicas o fenológicas de las plantas, son ocasionados por efectos del entorno” (Garnier & Navas, 2012).

**Sistema agroforestal.** Según Ramírez en el 2005 “Es el conjunto de arreglos, normas y técnicas que están orientadas a obtener una mejor producción mediante la asociación de especies vegetales (árboles con cultivos agrícolas), tratando que la productividad sea permanente y sostenible a través del tiempo de todos los recursos que conforman un sistema”.

**Tierras con cultivo permanente.** “Tierras con cultivo a largo plazo que, durante varios años, no hay que volver a plantar después de la recolección” (Brenes, 2011).

## **2.4 Marco legal**

□ Artículo 334 de la Constitución Política del Estado. Dirección general de la economía estará a cargo del Estado. Este debe intervenir en la explotación de los recursos naturales, los usos del suelo y en la producción, distribución, utilización y consumo de los bienes y servicios para racionalizar la economía con el fin de asegurar el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes, la distribución equitativa de las oportunidades y los beneficios del desarrollo y la preservación de un ambiente sano; así como para promover la productividad y la competitividad.

□ Decreto 2278 de 1953. “Por el cual se dictan medidas sobre cuestiones forestales”.

□ Decreto 2811 de 1974. “Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente”.

□ Decreto 900 de 1997 “Por el cual se reglamenta el Certificado de Incentivo Forestal para Conservación”.

□ Decreto 4944 de 2011 “Por el cual se reglamentan los Proyectos Especiales de Desarrollo Agropecuario o Forestal de que tratan los artículos 60 y 61 de la Ley 1450 de 2011 y se establecen otras disposiciones”.

□ Ley 99 de 1993 “Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones”.

Ley 139 de 1994 “Por la cual se crea el certificado de incentivo forestal y se dictan otras disposiciones.

Ley 160 de 1994 “Por la cual se crea el Sistema Nacional de Reforma Agraria y Desarrollo Rural Campesino, se establece un subsidio para la adquisición de tierras, se reforma el Instituto Colombiano de la Reforma Agraria y se dictan otras disposiciones”.

Ley 811 de 2003 “Por medio de la cual se modifica la Ley 101 de 1993, se crean las organizaciones de cadenas en el sector agropecuario, pesquero, forestal, acuícola, las Sociedades Agrarias de Transformación, SAT, y se dictan otras disposiciones.

Ley 1021 de 2006 “Por la cual se expide la ley general forestal”.

Ley 1377 de 2010 “Por medio de la cual reglamenta la actividad de reforestación comercial”

Resolución 182 de 2008. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Por medio de la cual se fija el procedimiento y los requisitos para el registro de los sistemas agroforestales o cultivos forestales con fines comerciales, y se adopta el formato para la movilización.

### **3. Metodología**

#### **3.1 Área de estudio**

El área de estudio donde se realizó la investigación abarca un Sistema Agroforestal de *Theobroma cacao* con dos tipos de sombrío *Acacia mangium Willd* y Sombrío Mixto, se encuentra

ubicado en la Finca la Primavera, vereda Charo Centro II en el municipio de Saravena en el departamento de Arauca, Orinoquía colombiana.

La *Tabla 1*, presenta la ubicación espacial del área de estudio que corresponde a la finca la Primavera, en el municipio de Saravena, Arauca.

**Tabla 1.**

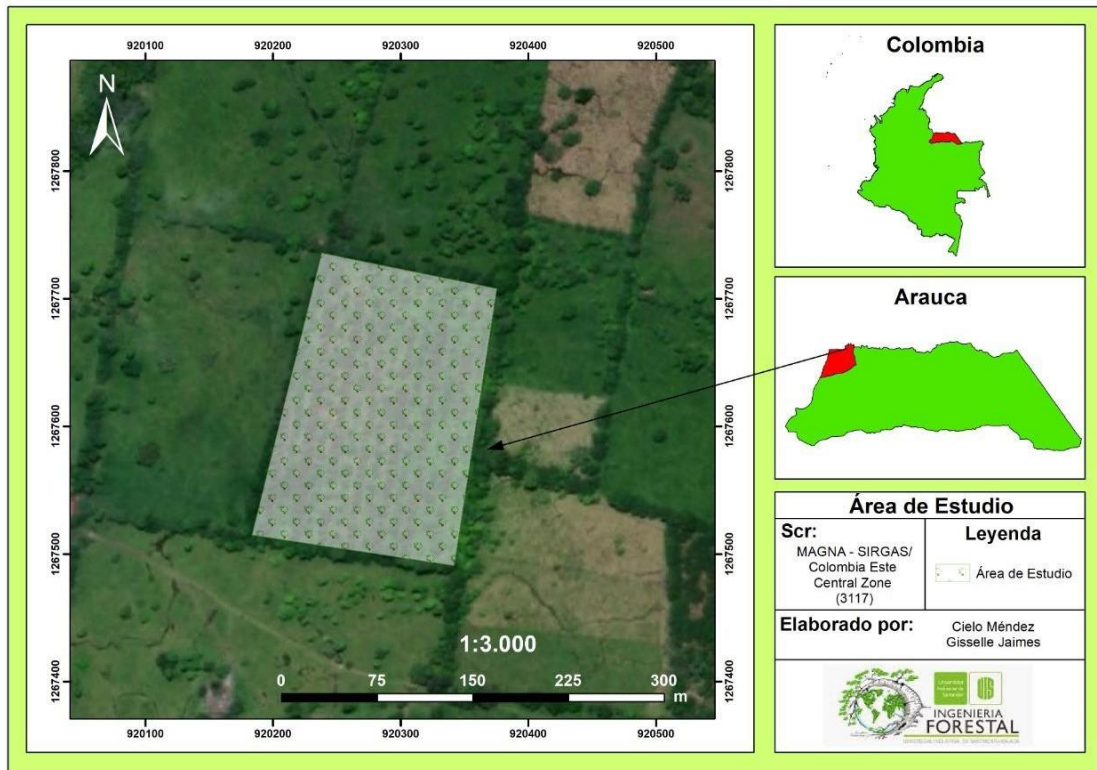
*Ubicación, establecimiento del sistema, coordenadas geográficas y extensión del área de estudio*

<b>Descripción</b>	<b>Estabilidad</b>	<b>Sitio</b>	<b>Coordenadas geográficas</b>	<b>Área</b>
<b>Sistema Agroforestal</b>	2011	Vereda Charo Centro II, Municipio de Saravena	Latitud Norte: 7°0'52.65" Longitud oeste: 71°47'58.38".	37.500 m <sup>2</sup>

En la *Figura 1*, se muestra la ubicación del sistema agroforestal, en la Finca la Primavera, vereda Charo Centro II del municipio de Saravena, departamento de Arauca.

**Figura 1.**

*Mapa de la ubicación del sistema Agroforestal, en el municipio de Saravena, Arauca.*



En la Tabla 2 se puede apreciar la zona de vida del área de estudio según Holdridge (1979).

**Tabla 2.**

*Zona de vida del área de estudio según Holdridge.*

Descripción	Altitud	Precipitación	Temperatura	Zona De Vida
Sistema agroforestal	184 msnm	2500 a 2900 mm/año (distribución monomodal)	25 a 29 °C	bosque húmedo tropical (bh-T).

### 3.2 Muestreo

La metodología que se empleó en esta investigación es de tipo cuantitativa, ejecutándose en tres etapas, la primera fue el trabajo en campo, donde se efectuó la toma de datos, realizando la medición de las características estructurales, la evaluación fitosanitaria y asimismo la recolección del material vegetal que fue llevado a laboratorio, el cual correspondió a la segunda fase y finalmente la última etapa, en donde se procesaron y analizaron los datos recolectados.

El área de estudio cuenta con dos tipos de sombrío (*Acacia magnium* L. y combinado), por cada uno de estos, se seleccionaron los árboles a muestrear en los surcos definidos para trabajar, de la siguiente manera: 50 árboles de cacao (Clon FTA2) ubicados en el interior de sistema y separados entre sí 20 metros. Para sombrío se muestrearon 10 del sombrío mixto y 10 de *Acacia magnium*.

En la figura 2, se muestra el plano del sistema agroforestal, ubicado en el municipio de Saravena, Arauca.

**Figura 2.**

*Mapa del plano del sistema agroforestal, municipio de Saravena, Arauca.*



### 3.2.1 Características estructurales de los árboles de sombrío

#### 3.2.1.1 Fase de campo

- Diámetro de la copa

Se midió en dirección Norte-Sur y Este-Oeste con cinta métrica, desde donde empieza hasta donde se termine la copa del árbol en línea recta.

- Diámetro a la Altura del Pecho “DAP” (cm)

Se midió a 1,30 metros sobre el nivel del suelo, como instrumento de medida se utilizó la cinta diamétrica. (Rodríguez, G., Ediesummer, R. D. M. O., & Echeverry, N. V. 2013).

- Altura total

La medición de esta variable se realizó con la ayuda del instrumento comúnmente conocido como Haga, a partir de la medida de un ángulo desde la visual del operador entre la cima y la base del árbol (Rodríguez, G. et al. 2013), se tomaron las mediciones a 25 metros de distancia del árbol.

### **3.2.1.2 Fase de laboratorio**

- Diámetro de la copa (m)

Los resultados de las dos orientaciones (N-S y E-O) mediciones se promedian para conocer el diámetro de la copa de cada especie de sombrío.

- Altura total (m)

Después de realizar la medición de algunas variables en campo, se halla la altura total mediante la ecuación (1):

$$h_t = (D * \tan(\text{rad } \theta_{sup})) - (D * \tan(\text{rad } \theta_{inf})) \quad (1)$$

Dónde:

$h_t$ : Altura total.

$D$ : Distancia (25 m).

$\tan$ : Tangente.

rad: Radianes.

$\theta_{sup}$ : Ángulo superior.

$\theta_{inf}$ : Ángulo inferior.

### 3.2.2 Variables estructurales en el *Theobroma cacao*

#### 3.2.2.1 Fase de campo

Para hallar cada una de estas características se tuvo en cuenta el protocolo de investigación en cacao de Loo Solórzano, R. G., Casanova Mendoza, T. D. J., & Plaza Avellán, L. F. (2016).

- Altura de planta "AP" (cm)

Se midió desde el nivel del suelo hasta el ápice de la planta (hoja más alta), utilizando un bastón graduado en centímetros.

- Diámetro del tallo "DT" (cm)

Se midieron los diámetros de las ramas principales a una altura de 40 cm sobre el nivel del suelo, utilizando un pie de rey.

- Diámetro de la corona foliar "DCF" (cm)

Se midió la longitud existente entre el ápice de las hojas ubicadas en las dos ramas más distantes, a dos tercios de la planta, utilizando una cinta métrica.

- Forma de la copa

Se registró en época seca mediante observación visual, utilizando la siguiente escala: 1= Copa horizontal

2= Copa semi-erecta

3= Copa erecta.

- pH

En cada uno de los árboles de cacao estudiado se tomó una muestra de suelo aproximadamente a 10 cm alrededor del lugar donde se encuentra sembrada, posteriormente estas se almacenaron en bolsas plásticas, ya que se debe evitar contaminar la muestra.

- Temperatura y humedad del suelo (VWC)

Con cada uno de los árboles se efectuó la medición a 10 cm del lugar de su establecimiento mediante un procheck (lector portátil de sensores), en la franja horaria de 8:00 am a 3:00 pm

- Densidad de sombrío

Se observó el porcentaje de la densidad de sombra por medio de un lente ojo de pez, el cual se ubica en la cámara frontal de un celular, poniéndose en la parte alta del tallo de cada individuo de cacao, para posteriormente tomar su respectiva fotografía y así calcular por medio de los claros que se observan el porcentaje de sombra que le proporciona a cada planta.

### **3.2.2.2 Fase de laboratorio**

- Circunferencia del tallo “CT” (cm)

Se convierte el valor obtenido en la variable “DT” (diámetro del tallo), aplicando la ecuación (2):

$$C = D * \pi \quad (2)$$

Dónde:

C: Circunferencia del tallo

D: Diámetro del tallo

$\pi$ : 3.1416

□ pH

Con cada muestra se llevó a cabo una mezcla con una proporción 1:1 de agua destilada y suelo, cuando se encontraba homogénea se procedió a medir con el pHmetro.

### ***3.2.3 Rasgos funcionales***

#### **3.2.3.1 Fase de campo.**

□ *Rasgos foliares*

La colecta de la muestra vegetal se realizó con la ayuda de unas tijeras podadoras. El material vegetal se colectó dos horas después de la salida del sol y tres horas antes de la puesta del sol (Garnier et al. 2001; Negret,2016). Se colectaron secciones de ramas con las hojas aún unidas y se removieron para almacenarlas dentro de bolsas plásticas y guardarlas en un refrigerador, a temperaturas entre los 3 y 5 °C por un máximo de 48 horas para evitar la proliferación de hongos (Garnier et al. 2001).

De cada árbol se colectó 5 hojas con pecíolo de la misma rama que contaba con mayor incidencia solar, sana y sin huellas de ataques por herbívoros o patógenos (Cornelissen et al. 2003); luego se etiquetó cada folio y se almacenó en un empaque plástico sellado para conservar la muestra junto con 30% de alcohol industrial y 70% de agua, de esta manera cuando llegó al laboratorio estaba en perfectas condiciones para realizar las respectivas mediciones.

### ***Rasgos hidráulicos y biomecánicos del tallo***

#### *Densidad de madera (DM; g/cm<sup>3</sup>)*

Se cortó de la rama aproximadamente 8 cm de largo y de 1 a 2 cm de diámetro por cada planta muestreada, con la ayuda de unas tijeras podadoras. Esta rama tenía las hojas expuestas al sol y fue la misma rama seleccionada para el muestreo de rasgos foliares, se etiquetó de la misma manera que para los rasgos foliares y se almacenaron en bolsas plásticas selladas con 30% de alcohol industrial y 70% de agua.

### **3.2.3.2 Fase de laboratorio**

#### *Área foliar (AF; cm<sup>2</sup>)*

Las muestras no pudieron ser pesadas inmediatamente, ya que fueron trasladadas del municipio de Saravena a la Universidad Industrial de Santander, sede Málaga, por lo cual se almacenaron en una bolsa de plástico sellada humedecidas con 30% de alcohol industrial y 70% de agua.

En el laboratorio de la universidad, se eliminó el exceso de humedad de las muestras y se colocó cada hoja con peciolo en la parte superior de una lámina blanca para estimar el AF , realizándose de la siguiente manera: se tomó una fotografía, con una escala fija y luego se hizo uso del software especializado ImageJ, el cual se encargó de calcular el área de cada una de ellas, se tuvo en cuenta que la cámara tuviera una resolución mínima de 5 Megapíxeles, además de estar en una posición totalmente perpendicular a la hoja y a una distancia fija, no se utilizó acercamiento. Las hojas se acomodaron totalmente extendidas para no subestimar el área, por lo que se cubrió con un vidrio antireflejo. Algunas las hojas estaban enrolladas o eran gran tamaño, por lo cual se

procedió a partir en pedazos pequeños, estimando el área por partes y sumarlas (Cornelissen et al. 2003). Cuando se analizaron las áreas se convirtieron las imágenes a formato binario blanco y negro de 8 bits, ya que permitió maximizar el contraste.

- *Contenido foliar de materia seca (CFMS; mg/g)*

Se rehidrataron los folios debido a las variaciones de turgencia celular, para pesar la masa fresca (g), por medio de una balanza analítica en el laboratorio, posteriormente se introdujeron en el horno para conocer la masa seca (mg), se obtiene de la siguiente ecuación (3):

$$CMSF = \frac{MSH}{MF}$$

Donde:

CMSF: Contenido de materia seca foliar MSH: Masa seca al horno

- *Espesor foliar (E; mm)*

Rehidratadas las hojas, se realizaron 10 mediciones con un micrómetro en una misma hoja, evitando las venas principales y el borde foliar (Pérez-Hargindeguy et al. 2013; Negret, 2016).

- *Área foliar específica (AFE; cm<sup>2</sup>/g)*

Después se determinar el área de la hoja fresca (AF), cada muestra fue secada en el horno a 70°C por 48 h, inmediatamente después de haber sido sacada del horno se procedió a pesar la hoja en una balanza analítica para saber la masa seca y así conocer el contenido de masa seca (CFMS)

Las hojas se secan a temperaturas inferiores a los 70 °C para evitar la volatilización de algunos nutrientes foliares. Se halla por medio de la siguiente ecuación (4)

$$AFE = \frac{AF}{MSH}$$

Donde:

AFE: Área foliar específica AF: Área hoja fresca MSH: Masa seca al horno

□ *Densidad de madera (DM; g/cm<sup>3</sup>)*

El tallo de las ramas fue cortado y sumergido en agua durante seis horas antes de la medición, manteniéndose en un lugar sombreado y fresco.

Se pesó cada rama en una balanza semianalítica, posteriormente se determinó el volumen fresco (con una humedad constante), ya que las muestras fueron rehidratadas. Se estimaron mediante el método de desplazamiento de agua, en el cual la rama se sumergió en probeta con agua y se hundió toda con ayuda de una aguja fina, cuyo volumen es despreciable. La muestra de madera no debía entrar en contacto con los lados o el fondo del recipiente. El volumen de la muestra es igual al volumen de agua desplazada, medido en el marcaje de la probeta. Posteriormente, la muestra de madera se secó en un horno a 70 °C durante 72 horas y se pesó inmediatamente después de ser sacada del horno, ya que el aire es a menudo saturado de agua y las rehidrata.

□ *Contenido máximo de agua en el tallo. (CMAT; mg/g)*

Se obtiene dividiendo la masa de la muestra de madera fresca saturada de agua por la masa seca en el horno.

### ***3.2.4 Estado fitosanitario de las plantas de *Theobroma cacao*.***

Para hallar las características sanitarias se tiene principalmente en cuenta el protocolo de investigación en cacao de Loo Solórzano R., et .al (2016), los datos de estas variables se realizan durante el tiempo de cosecha.

### 3.2.4.1 Fase de campo

□ *Evaluación de la enfermedad Escoba de bruja causada por el hongo *Moniliophthora perniciosa* (Stahel) Aime y Philips-Mora (antes llamada *Crinipellis perniciosa*).*

La Escoba de bruja es una enfermedad que afecta a los tejidos y brotes en crecimiento de las plantas de cacao.

- Incidencia de escobas (%)

En cada planta se registró el número de escobas vegetativas y el número total de brotes encontrados en cada planta.

- Severidad

Se estima la intensidad del ataque de la enfermedad, de acuerdo con la escala de desarrollo de la Escoba de bruja vegetativa en la planta, se catalogó cada planta con la escala de la Tabla 3

**Tabla 3.**

*Escala de desarrollo de la escoba de bruja*

ESCALA	REPRESENTACIÓN	CARACTERÍSTICA DEL NIVEL
1	Infeción leve	Inicial engrosamiento anormal del brote apical
2	Infeción moderada	Engrosamiento anormal de brote apical y deformación de hojas en brote apical.
3	Infeción elevada	Escoba completamente formada en brote apical

□ *Evaluación de enfermedades en la mazorca del cacao.*

Las mazorcas pueden ser afectadas por un sinnúmero de agentes bióticos, que son causales de enfermedades; sin embargo, la Monilia, Escoba de bruja y la pudrición negra son las más comunes.

Los estados iniciales de Monilia y Escoba de bruja pueden ser confundidos entre ellos.

- Incidencia de Monilia causada por *Moniliophthora perniciosa*

Se midió el número de mazorcas afectadas con Monilia y el total de mazorcas de cada árbol de cacao para conocer la incidencia de Monilia, se registró junto con la cosecha de frutos sanos y/o eliminación de frutos enfermos.

- Severidad para moniliasis en los frutos de cacao (*Theobroma cacao* L).

De acuerdo a la observación de frutos afectados, se mide el porcentaje por medio de la escala de severidad fue propuesta por Paredes (2016); con algunas modificaciones hechas por Gabriel, J., & Castro, C. (2017), las cuales se encuentran en las siguientes tablas:







**Tabla 4.**

*Escala de severidad para Moniliasis- Clasificación*

VALOR	INTERNA	EXTERNA
	(% DE ALMENDRAS AFECTADAS)	(CLASIFICACION DE SINTOMAS)
0	0	Fruto sano
1	ene-20	Presencia de puntos aceitosos ( Hidrosis)
2	21-40	Presencia de tumefacción y/o madurez prematura
3	41-60	Presencia de mancha
4	61-80	Presencia de micelio que cubre hasta la cuarta parte de la mancha parda
5	>81	Presencia de micelio que cubre más de la cuarta parte de la mancha chocolate.

**Tabla 5.**

*Escala de severidad para Moniliasis-Sintoma*

Diseño interno (%)	Sintoma	Diseño interno (%)	Síntoma
0		41-60	
1-20		61-80	
21-40		>81	

### 3.2.4.2 Fase de laboratorio

□ *Evaluación de la enfermedad Escoba de bruja causada por el hongo *Moniliophthora perniciosa* (Stahel) Aime y Philips-Mora (antes llamada *Crinipellis perniciosa*).*

La Escoba de bruja es una enfermedad que afecta a los tejidos y brotes en crecimiento de las plantas de cacao.

- Incidencia de escobas (%)

Con los datos recolectados en campo se usa la ecuación (5):

$$Incidencia (\%) = \frac{\text{Número de escobas vegetativas}}{\text{Número total de brotes}} * 100 \quad (3)$$

□ *Evaluación de enfermedades en la mazorca del cacao.*

- Incidencia de Monilia causada por *Moniliophthora perniciosa*

Después de obtener los datos en campo se calculó expresándose en porcentaje con la ecuación (6):

$$\text{Incidencia (\%)} = \frac{\text{Número de mazorcas con Monilia}}{\text{Número total de mazorcas}} * 100 \quad 4)$$

### 3.3 Análisis de datos

Para realizar cada una de las pruebas estadísticas se hizo uso del Software INFOSTAT, donde primero se llevó a cabo la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para determinar si las variables presentaban o no una distribución normal, teniendo en cuenta un nivel de significancia de 0.05 y de acuerdo a este análisis de normalidad, se seleccionaron para cada variable la prueba más adecuada, que fue un análisis de varianza para las variables con distribución normal y uno de varianza no paramétrica de Kruskal Wallis para las variables con una distribución no normal, para de tal manera establecer si cada variable evaluada entre los tipos de sombrío tiene o no diferencias significativas. Finalmente se ejecutó un análisis de componentes principales.

## 4. Resultados

En la tabla 6 se relacionan los resultados obtenidos para cada uno de las variables evaluadas, así como se señalan las diferencias significativas obtenidas entre los dos tipos de sombrío de acuerdo a los análisis de varianza empleados.

Tabla 6

*Variabilidad entre tipos de sombrío*

<b>Variables</b>	<b>Tipo de sombrío</b>	<b>N</b>	<b>Medias</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>Significancia*</b>
<b>Altura total árbol (m)</b>	Acacia	10	11.57	8.10	12.63	A
	Mixto	10	9.81	7.57	15.30	A
<b>Diámetro a la altura del pecho (cm)</b>	Acacia	10	25.65	20	31.30	A
	Mixto	10	19.70	9.2	37.20	A
<b>Diámetro de copa (m)</b>	Acacia	10	8.69	7.55	11.33	A
	Mixto	10	7.85	4.82	10.52	A
<b>Altura de la planta de cacao (cm)</b>	Acacia	50	314	136	388	A
	Mixto	50	350	123	428	B
<b>Circunferencia del tallo (cm)</b>	Acacia	50	46.81	26.07	83.56	A
	Mixto	50	55.14	11.93	98.64	A
<b>Diámetro del tallo (cm)</b>	Acacia	50	14.90	8.3	26.6	A
	Mixto	50	17.55	3.8	31.4	A
<b>Diámetro de la corona foliar (cm)</b>	Acacia	50	344	31	560	A
	Mixto	50	407	130	580	B
<b>Densidad de sombra (%)</b>	Acacia	50	45	5	85	A
	Mixto	50	56	10	95	B
<b>Temperatura (°C)</b>	Acacia	50	32.55	26.40	33.70	A
	Mixto	50	33.30	31.40	34.20	B
<b>Contenido volumétrico de agua (%)</b>	Acacia	50	26.70	19.30	41.30	A
	Mixto	50	30	18	48.60	B
<b>pH</b>	Acacia	50	5.3	4.7	6.6	A
	Mixto	50	5.1	4.6	6.1	B
<b>Área foliar (cm<sup>2</sup>)</b>	Acacia	250	157.99	29.877	618.533	A
	Mixto	250	125.98	22.937	685.032	B

<b>Área foliar específica (cm<sup>2</sup>/g)</b>	Acacia	250	147.16	15.323	1562.168	A
	Mixto	250	148.96	93.230	368.693	A
<b>Contenido foliar de materia seca (mg/g)</b>	Acacia	250	377.64	125.212	1218.329	A
	Mixto	250	379.69	303.202	451.908	A
<b>Contenido máximo de agua en el tallo (mg/g)</b>	Acacia	50	2766.98	1131.590	3564.057	A
	Mixto	50	2618.72	2269.570	4035.219	B
<b>Espesor foliar (mm)</b>	Acacia	2500	0.71	0.30	0.84	A
	Mixto	2500	0.63	0.56	0.76	A
<b>Densidad de la madera (g/cm<sup>3</sup>)</b>	Acacia	50	0.34	0.241	0.417	A
	Mixto	50	0.37	0.131	0.499	B

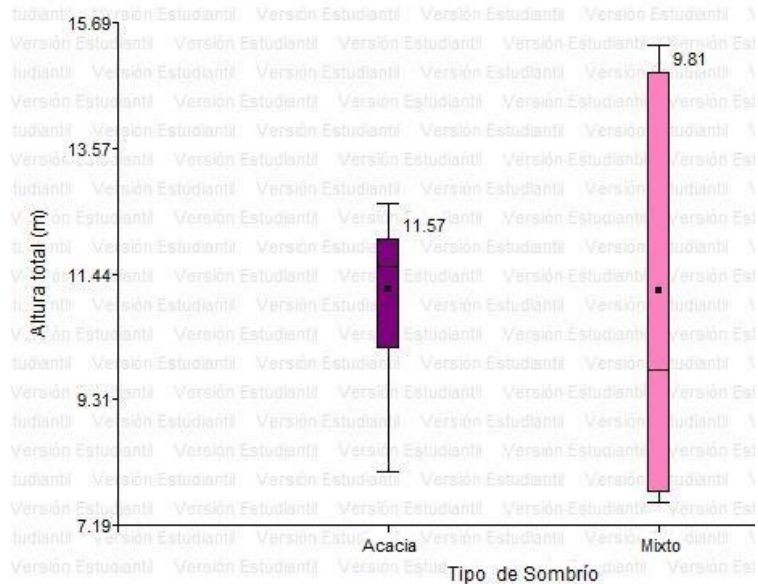
\*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

#### 4.1 Efecto del sombrío sobre las características estructurales

No se evidencian diferencias significativas en la variabilidad de la altura total del árbol entre el tipo de sombrío mixto y sombrío de Acacia (*Figura 3*). En donde se registraron alturas mayores en el sombrío con Acacia con una media de 11.57 m, valores mínimos de 8.10 mm y máximos de 12.63 m y en el sombrío mixto alturas menores con una media de 9.81 m, registrando valores mínimos de 7.57 m y máximos de 15.30 m. En el sombrío

**Figura 3.**

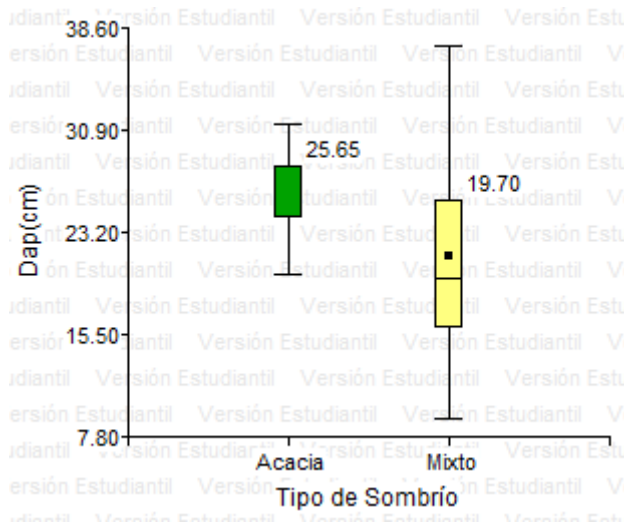
*Variabilidad de la altura total del árbol entre los dos tipos de sombrío*



No se evidencia diferencias significativas en diámetro a la altura del pecho (dap) entre el tipo de sombrío mixto y sombrío de Acacia (*Figura 4*). En donde se registraron dap mayores en el sombrío con Acacia, con un valor medio de 25.65 cm, registrando valores mínimos de 20 cm y máximos de 31.3 cm. En el sombrío mixto se presentaron valores menores con una media de 19.70 cm, valores mínimos de 9.2 cm y máximos de 37.2 cm

**Figura 4.**

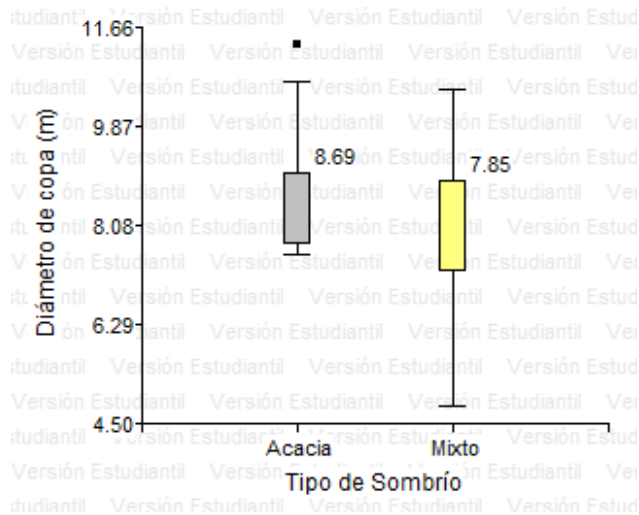
*Variabilidad del diámetro a la altura del pecho entre los dos tipos de sombrío*



No se evidencia diferencias significativas en diámetro de copa entre el tipo de sombrío mixto y sombrío de Acacia (*Figura 5*). En donde se registraron mayores diámetros de copa en el sombrío de Acacia, con un valor medio de 8.69 m, registrando valores mínimos de 7.55 m y máximos de 11.33 m. En el sombrío mixto se presentaron menores diámetros de copa con una media de 7.85 m, valores mínimos de 4.82 m y máximos de 10.52 m.

**Figura 5.**

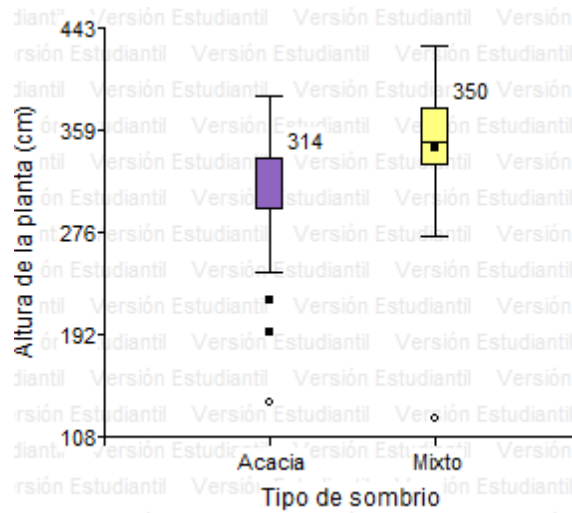
*Variabilidad del diámetro de copa entre los dos tipos de sombrío.*



Se encontraron diferencias significativas en alturas de las plantas de Cacao entre el tipo de sombrío mixto y sombrío de Acacia (*Figura 6*) con un p-value <0.05. En donde se registraron mayores alturas de la planta de Cacao en el sombrío mixto, con un valor medio de 350 cm, registrando valores mínimos de 123 cm y máximos de 428 cm. En el sombrío Acacia se presentaron menores alturas con una media de 314 cm, valores mínimos de 136 cm y máximos de 388 cm.

**Figura 6.**

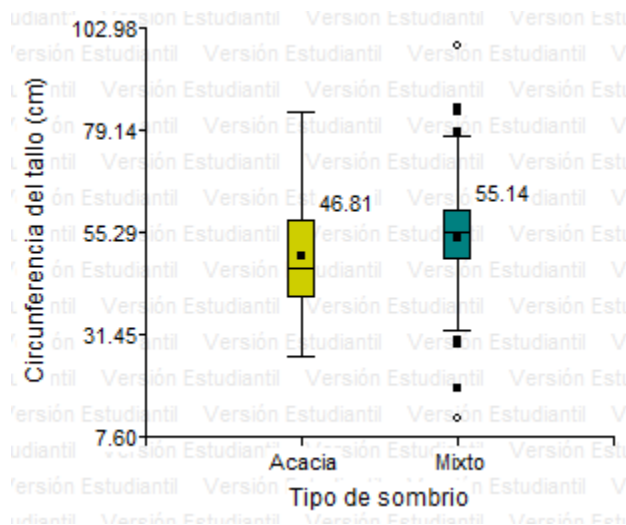
*Variabilidad de la altura total de la planta entre los dos tipos de sombrío*



No se evidencia diferencias significativas en Variabilidad de la circunferencia del tallo entre el tipo de sombrío mixto y sombrío de Acacia (*Figura 7*). En donde se registraron circunferencias del tallo menores en el sombrío Acacia, con un valor medio de 46.81 cm, registrando valores mínimos de 26.07 cm y máximos de 83.56 cm. En el sombrío mixto se presentaron mayores circunferencias con una media de 55.14 cm, valores mínimos de 11.93 cm y máximos de 98.64 cm.

**Figura 7.**

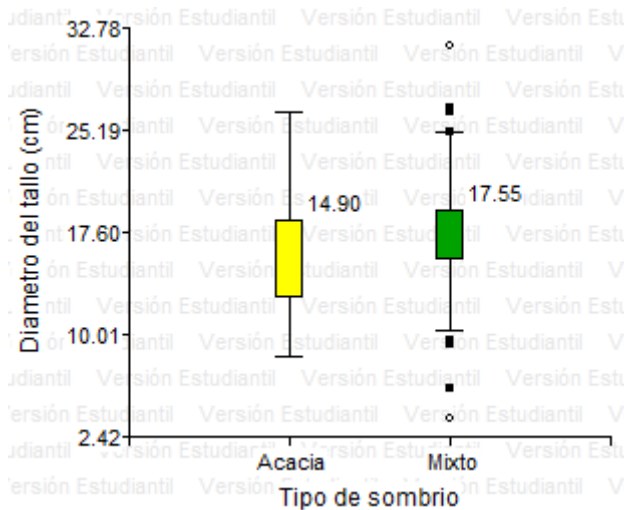
*Variabilidad de la circunferencia del tallo de la planta de Cacao entre los dos tipos de sombrío*



No se evidencia diferencias significativas en la variabilidad del diámetro del tallo entre el tipo de sombrío mixto y sombrío de Acacia (*Figura 8*). En donde se registraron diámetros menores del tallo en el sombrío Acacia, con un valor medio de 14.90 cm, registrando valores mínimos de 8.3 cm y máximos de 26.6 cm. En el sombrío mixto se presentaron diámetros del tallo mayores con una media de 17.55 cm, valores mínimos de 3.8 cm y máximos de 31.4 cm.

**Figura 8.**

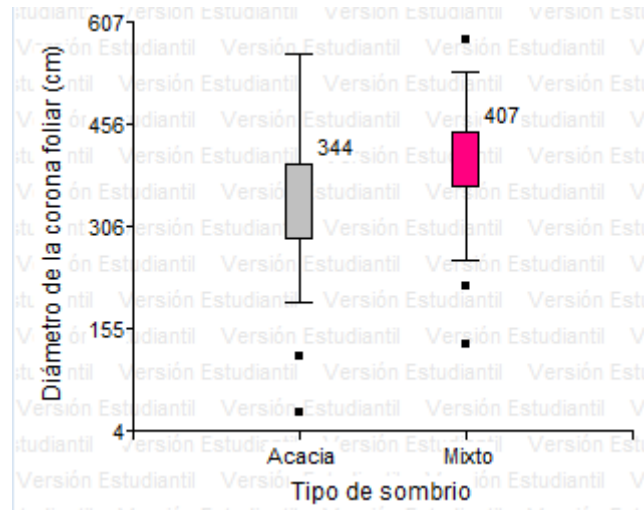
*Variabilidad del diámetro del tallo de la planta de Cacao entre los dos tipos de sombrío.*



Se presentan diferencias significativas en la variabilidad del diámetro de la corona foliar entre el tipo de sombrío mixto y Acacia (*Figura 9*), con un p-value <0.05 de 0.0016; en donde se registraron mayores diámetros de la corona foliar en el sombrío mixto, con un valor medio de 407 cm, registrando valores mínimos de 130 cm y máximos de 580 cm. En el sombrío Acacia se presentaron menores diámetros de la corona foliar con una media de 344 cm, valores mínimos de 31 cm y máximos de 560 cm.

**Figura 9.**

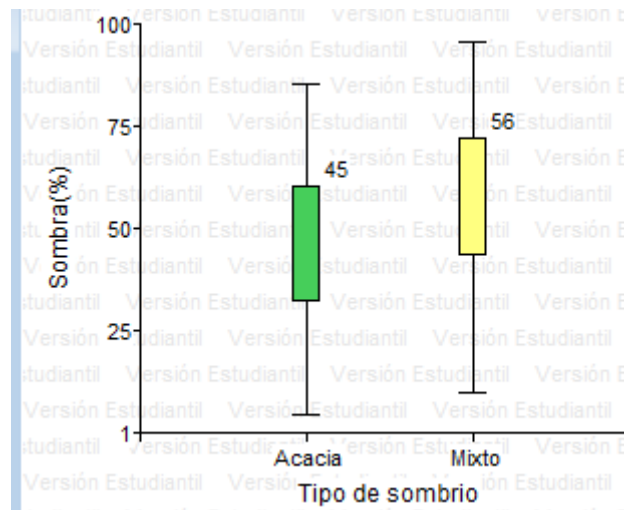
Variabilidad del diámetro de la corona foliar de la planta de Cacao entre los dos tipos de sombrío.



Se presentaron diferencias significativas en porcentaje de sombra entre el tipo de sombrío mixto y sombrío de Acacia (*Figura 10*) con un p-value <0.05 de 0.0128. En donde se registraron porcentajes de sombra mayores en el sombrío mixto, con un valor medio de 56 %, registrando valores mínimos de 10 % m y máximos de 95%. En el sombrío Acacia se presentaron menores alturas con una media de 45 %, valores mínimos de 5 % y máximos de 85 %.

**Figura 10.**

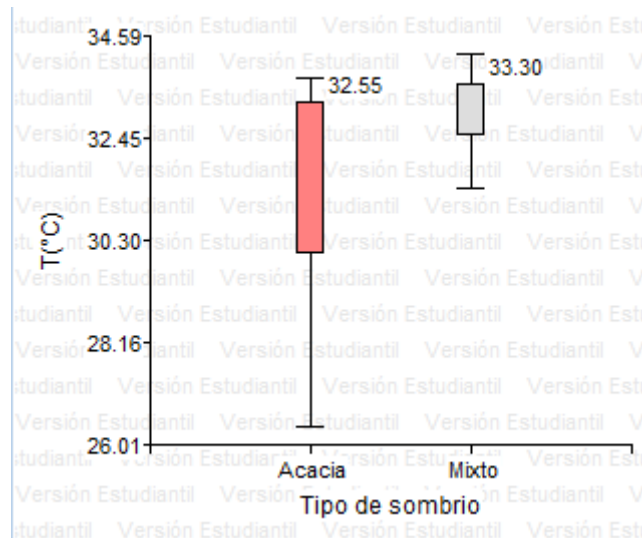
Variabilidad del porcentaje de sombra entre los dos tipos de sombrío.



Se evidencia diferencias significativas en la variabilidad de la temperatura entre el tipo de sombrío mixto y sombrío de Acacia (*Figura 11*) con un p-value <0.05 de 0.0001. En donde se registraron temperaturas mayores en el sombrío mixto, con un valor medio de 33.0 °C, registrando valores mínimos de 31.4 °C y máximos de 34.2 °C. En el sombrío Acacia se presentaron menores temperaturas con una media de 32.55 °C, valores mínimos de 26.4 °C y máximos de 33.7 °C.

**Figura 11.**

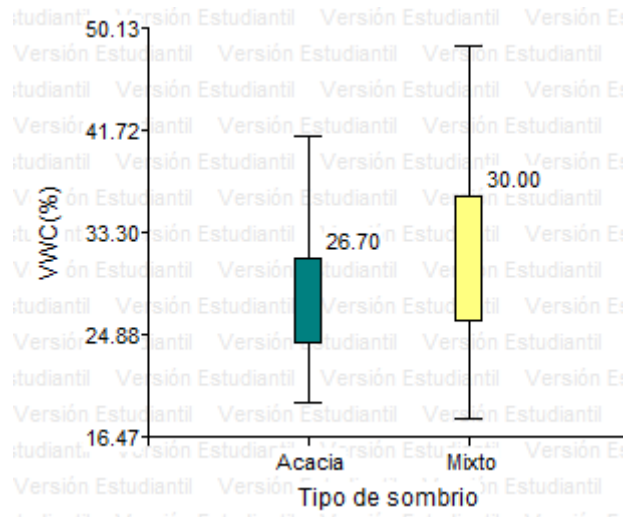
*Variabilidad de la temperatura entre los dos tipos de sombrío.*



Se presentaron diferencias significativas en contenido volumétrico de agua entre el tipo de sombrío mixto y sombrío de Acacia (*Figura 12*) con un p-value <0.05; 0.0189. En donde se registraron contenido volumétrico de agua mayores en el sombrío mixto, con un valor medio de 30 %, registrando valores mínimos de 18 % y máximos de 48.6 %. En el sombrío Acacia se presentaron menores contenidos volumétricos de agua con una media de 26.70 %, valores mínimos de 19.3% y máximos de 41.3 %.

**Figura 12.**

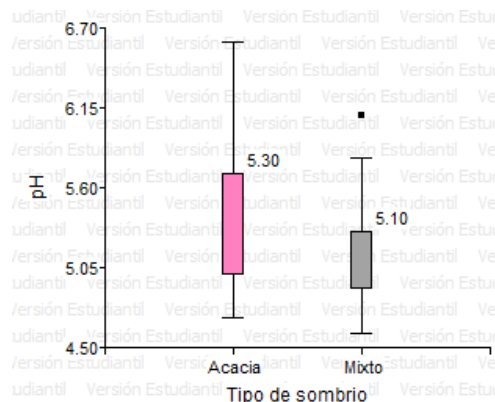
*Variabilidad del contenido volumétrico de agua de cada planta entre los dos tipos de sombrío.*



Se presentan diferencias significativas en la variabilidad del pH entre el tipo de sombrío mixto y sombrío de Acacia (Figura 13) con un p-value < 0.05 de 0.0068. En donde se registraron pH en el sombrío mixto menores, con un valor medio de 5.10, registrando valores mínimos de 4.6 y máximos de 6.1. En el sombrío Acacia se presentaron mayores pH con una media de 5.30, valores mínimos de 4.7 y máximos de 6.6.

**Figura 13.**

*Variabilidad del pH entre los dos tipos de sombrío.*

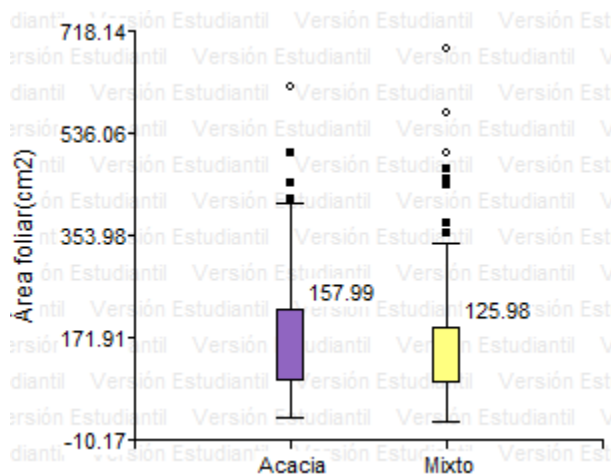


#### 4.2 Efecto de los dos tipos de sombrío sobre los rasgos funcionales del *Theobroma cacao* L.

El p-value del área foliar fue  $< 0.05$  con un valor de 0.0338, lo que indica que hay diferencia significativa de esta variable entre los dos tipos de sombrío. (Figura 14) Las plantas de cacao que presentan mayor área foliar son las del sombrío de Acacia, con una media de 157.99 cm<sup>2</sup>. Las de sombrío mixto presentes menor área foliar con una media de 125.98 cm<sup>2</sup>.

#### Figura 14.

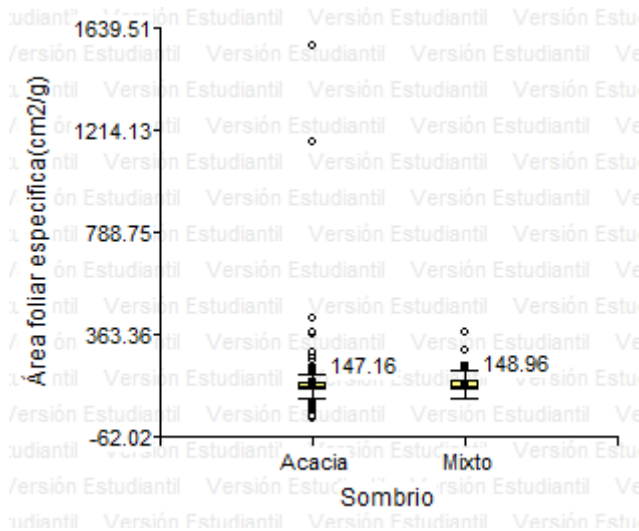
Variabilidad del área foliar entre los dos tipos de sombrío



No se encontraron diferencias significativas en el área foliar específica. En la (Figura 15) se puede observar que en el sombrío mixto se registraron mayores áreas foliares específicas con un valor medio de 148.96 cm<sup>2</sup>/g, registrando valores mínimos de 93.230 cm<sup>2</sup>/g y máximos de 368.693 cm<sup>2</sup>/g. En el sombrío con Acacia, las plantas de cacao presentaron menores áreas foliares específicas, con una media de 147.16 cm<sup>2</sup>/g, un mínimo de 15.323 cm<sup>2</sup>/g y un máximo de 1562.168 cm<sup>2</sup>/g.

**Figura 15.**

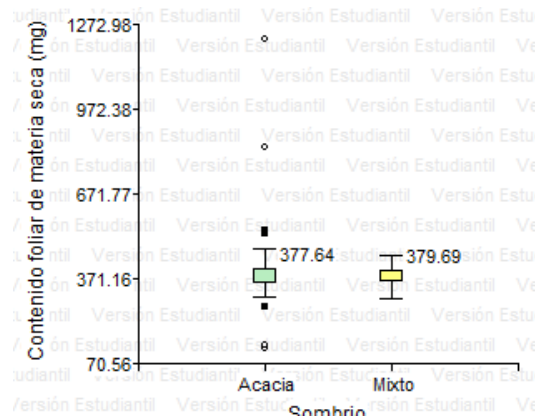
*Variabilidad del área foliar específica entre los dos tipos de sombrío.*



El p-value del contenido foliar de materia seca fue  $> 0.05$  con un valor de 0.7870, lo que indica que no se presentan diferencias significativas entre las variables según el tipo de sombrío. Como podemos observar en la *Figura 16*, El sombrío mixto presenta mayores valores en el contenido foliar de materia seca de cada planta, con una media de 379.69 mg, y las de sombrío mixto presentes menor contenido foliar de materia seca, con una media de 377.64 mg.

**Figura 16.**

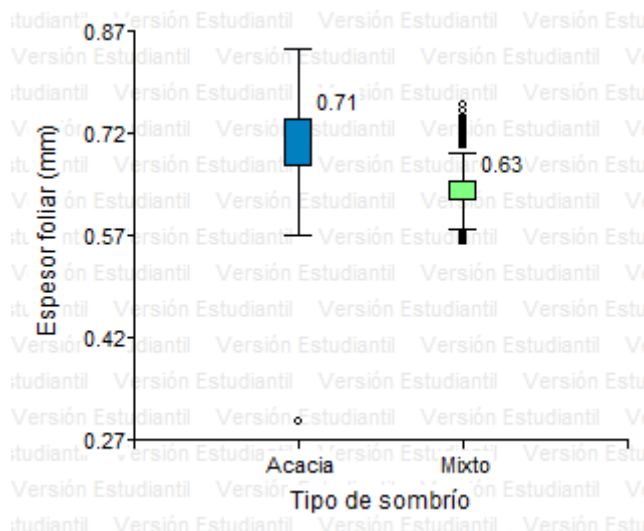
*Variabilidad del contenido foliar de materia seca entre los dos tipos de sombrío*



En el espesor foliar no se encontraron diferencias significativas y como se puede apreciar en la *Figura 17*, el sombrío con Acacia es el que obtiene mayores valores, con una media de 0.71 mm, registrando valores mínimos de 0.30 mm y máximos de 0.89 mm; el sombrío mixto presenta una media de 0.63 mm, con unos valores mínimos de 0.56 mm y un máximo de 0.76 mm

**Figura 17.**

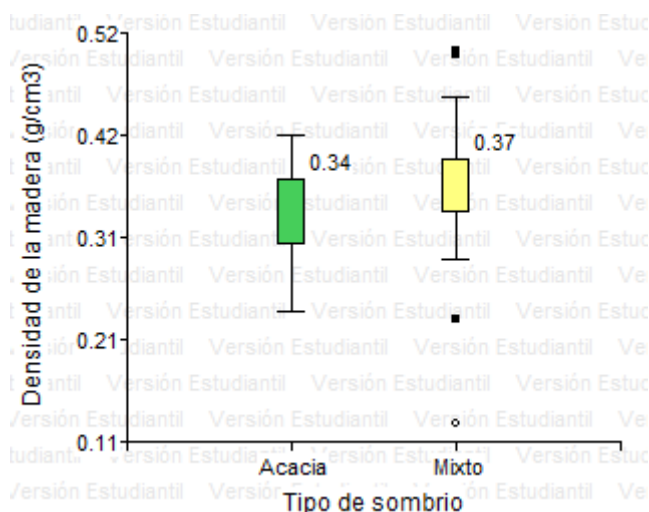
*Variabilidad del espesor foliar entre los dos tipos de sombrío*



En el caso de Densidad de la madera, el p-value de los dos tipos de sombrío fue  $p\text{-value} < 0,05$  con un valor de 0.0086 lo que indica que existe diferencia significativa entre los mismos. El tipo de sombrío con mayor Densidad de la madera corresponde al mixto, con una media de 0.37 g/cm<sup>3</sup>, con datos desde 0.131 g/cm<sup>3</sup> hasta 0.499 g/cm<sup>3</sup> y el sombrío con Acacia presenta una media de 0.34 g/cm<sup>3</sup> con datos que van desde los 0,241 g/cm<sup>3</sup> y 0.417 g/cm<sup>3</sup> (Figura 18)

**Figura 18.**

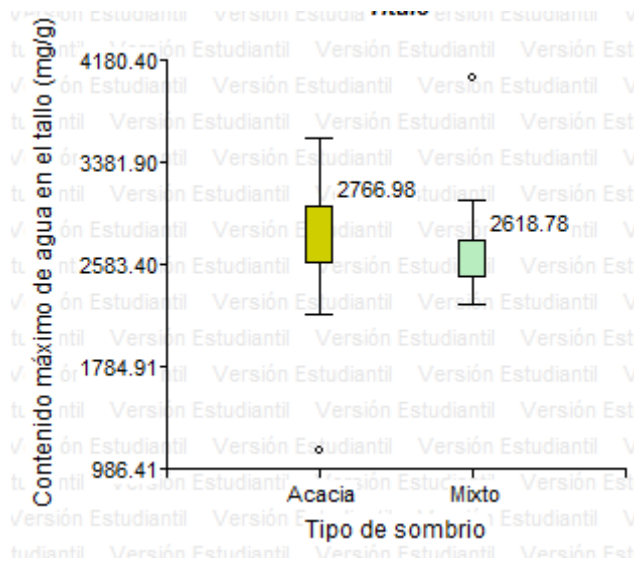
*Variabilidad de la densidad de la madera entre los dos tipos de sombrío*



El p-value del contenido máximo de agua en el tallo de la Prueba de Kruskal Wallis fue  $< 0,05$  con un valor de 0.0083, lo que denota que hay una diferencia significativa entre ellos respecto a esta variable. En el sombrío con Acacia se encuentran árboles con mayor CMAT, presentando una media de 2766.98 mg/g, oscilando entre los 1131.590 mg/g y 3564.057 mg/g y mientras que en el sombrío mixto, la media es de 2618.78 con datos que van desde los 2269.570 mg/g hasta los 4035.219 mg/g (Figura 19)

**Figura 19.**

*Variabilidad del contenido máximo de agua en el tallo entre los dos tipos de sombrío.*

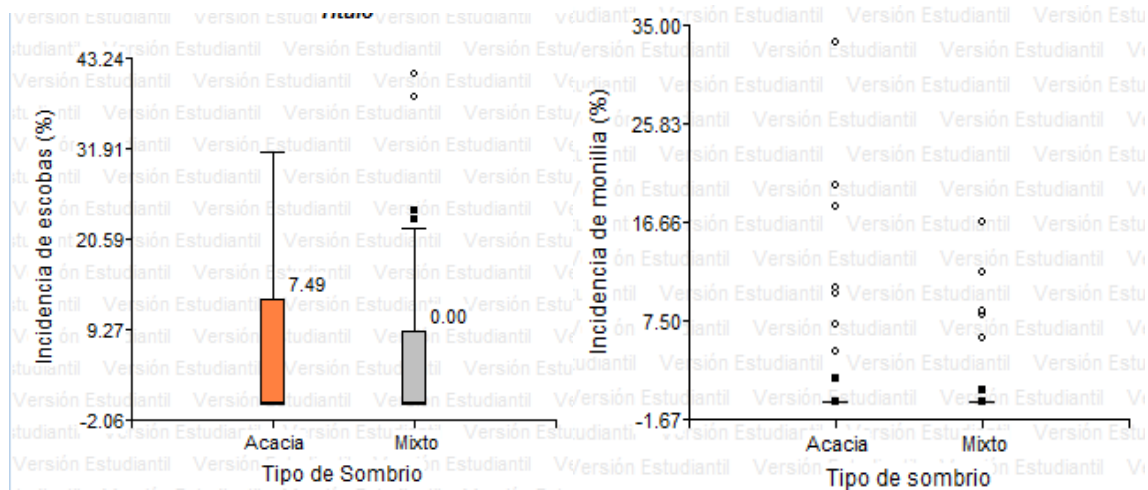


#### 4.3 Efecto del sombrío sobre el estado fitosanitario del *Theobroma cacao*

La incidencia de escobas posee diferencias significativas y como se puede apreciar en *Figura 20*, el sombrío con Acacia es el que obtiene mayores valores, con una media de 7.49%, registrando máximos de 31.91%; el sombrío mixto presenta un porcentaje máximo 41.18%. A diferencia de la incidencia de monilia, la cual no presenta diferencias significativas, esta variable en el sombrío con Acacia presenta un porcentaje máximo de 33.33% y para el sombrío mixto un 16.67%.

**Figura 20.**

*Variabilidad entre la incidencia de escobas y monilia entre los dos tipos de sombrío*

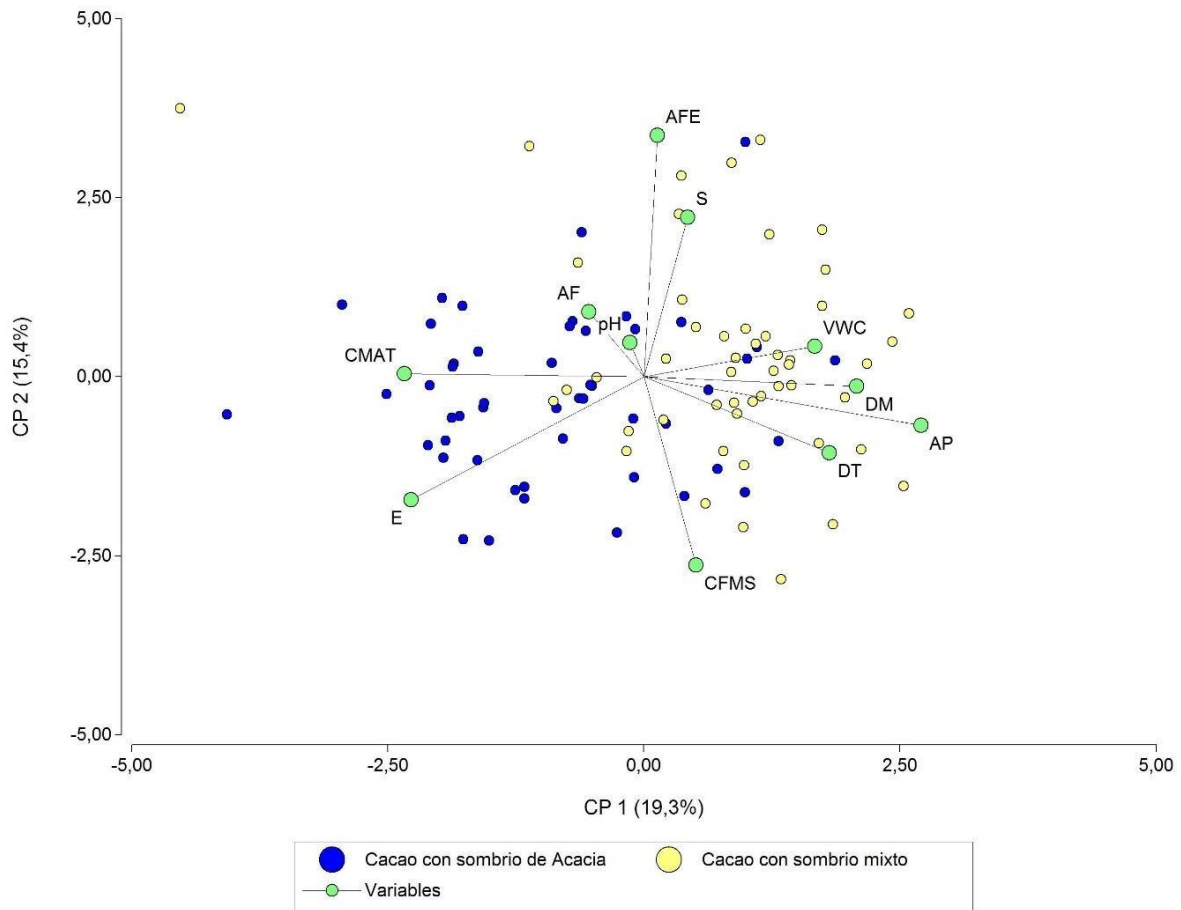


El análisis de componentes principales (*Figura 21*) muestra como las plantas de cacao que se encuentran en el sombrío con Acacia tienen mayor Área foliar, pH, Contenido máximo de agua en el tallo y espesor; mientras que las que se encuentran ubicadas en el sombrío mixto presentan mayor Área foliar específica, porcentaje de sombra, Contenido volumétrico de agua, Densidad de madera y Contenido foliar de materia seca; además las plantas de cacao de este tipo de sombrío, tienen un mayor diámetro del tallo y altura.

Asimismo, la matriz de correlaciones muestra una correlación positiva entre la altura de la planta y la densidad de la madera (0.23), y una correlación negativa entre el espesor foliar y la densidad de la madera (-0.25); también se puede observar una baja correlación entre el contenido foliar de materia seca y el área foliar específica (-0.43), pero una correlación positiva entre el porcentaje de sombra y el área foliar específica (0.23).

**Figura 21.**

*Gráfica de componentes principales del Theobroma cacao entre los dos tipos de sombrío.*



Donde: CMAT (Contenido máximo de agua en el tallo), E (Espesor foliar), AF (Área foliar), CFMS (Contenido foliar de materia seca), AFE (Área foliar específica), S (Sombra), VWC (Contenido volumétrico de agua), DM (Densidad de madera), AP (Altura de la planta), DT (Diámetro del tallo).

## 5. Discusión

Los árboles de sombra pueden ayudar a reducir la exposición al estrés del cacao a una alta demanda evaporativa y una alta intensidad de radiación, puesto que la exposición total a la luz puede provocar el cierre de los estomas como resultado del deterioro del estado hídrico de las hojas, lo que puede reducir la actividad fotosintética y el crecimiento (Abou et al., 2016). Es por esto que un sombrío eficiente proporciona a la planta un buen crecimiento y desarrollo vegetativo, dado que se encuentran directamente relacionadas con la fotosíntesis, los procesos biológicos, bioquímicos y morfológicos (Lima et al., 2017; Chamba, 2018). De acuerdo a la *Figura 10*, donde se observa que el sombrío mixto presenta mayor porcentaje de sombra, lo cual influye sobre las características estructurales de la planta (altura, diámetro), variables que también tienen un efecto positivo bajo este mismo sombrío.

Existen diversos rasgos foliares que varían enormemente entre las especies, esta diversidad generada por filogenia y adaptación se encuentra limitada por correlaciones entre características anatómicas y funcionales asociadas por ejemplo a la capacidad fotosintética o tolerancia al estrés hídrico (Chamba, 2018). De acuerdo a el análisis de componentes principales se puede distinguir claramente que hay diferencias a nivel intraespecífico en las plantas de cacao en relación al tipo de sombrío donde se encuentren, es así como el cacao en el sombrío mixto tiene una estrategia adquisitiva que se ve reflejada en alto valores de área foliar específica, lo cual está asociada a elevadas tasas de respiración y fotosíntesis (Wright et al., 2004). Mientras que el cacao bajo sombrío de Acacia tiene una estrategia conservativa, con bajos valores en el AFE pero con una

alta inversión en el espesor foliar, rasgos que incrementan la longevidad foliar (Díaz et al., 2016); Así mismo, la Teoría de la Optimización, es decir, el balance entre los beneficios fotosintéticos contra los costos de C por respiración y transpiración, predice que el espesor foliar debería ser más alto en especies que crecen en ambientes más soleados, secos y también en hojas más longevas (Pérez et al, 2016).

De igual modo como muestran los resultados, el cacao que se encuentra en el sombrío de Acacia, presenta mayores áreas foliares y contenido máximo de agua en el tallo, lo cual es relevante para la intercepción de la luz y tiene consecuencias importantes para la energía y balance hídrico de las plantas (Díaz et al., 2016). Adicionalmente, el área foliar afecta la temperatura de la hoja, es así como a mayores áreas es menor el intercambio de calor, la difusión de dióxido de carbono, el vapor de agua por unidad de área foliar entre la hoja y el aire circundante (Díaz et al., 2016).

La hojarasca proveniente de hojas con alto CFMS tiende a descomponerse más lentamente y tienden a ser relativamente duras, por lo tanto, se asume que son más resistentes a los daños físicos (herbívora, viento, granizo). Por otra parte, altos valores de densidad de madera también se asocian a una mayor supervivencia, debido a que permite una mayor seguridad hidráulica y resistencia frente a patógenos, herbívoros o daño físico. Por lo tanto, de acuerdo a los resultados obtenidos, se identificó que el sombrío mixto ejerce mayor relación con el CFMS y DM.

Finalmente, la sombra bien regulada puede reducir la incidencia de plagas y enfermedades y contribuir a una larga vida útil de la plantación. Además, ofrece una amplia gama de servicios ambientales como son: la captura de agua y carbono, la conservación de suelo, el incremento de materia orgánica y fauna del suelo y la protección del ecosistema (Acuna, 2016). Para el caso de este trabajo se cumple lo mencionado anteriormente ya que se presentan bajos porcentajes en la

incidencia de Escobas y Monilia, sin embargo, se logró identificar que el sombrío con acacia tiende a ser más susceptible a este tipo de enfermedades.

## **6. Conclusiones**

- En general las características y efectos óptimos en comparación a los dos tipos de sombrío, se evidenciaron en el sombrío mixto, ya que fue donde se obtuvo una mayor eficiencia en el crecimiento y desarrollo vegetativo de las plantas cacao, en la mayoría de rasgos foliares e hidráulicos, junto a un valor más alto en la humedad del suelo.

- Las plantas de cacao bajo el sombrío mixto presentan mejores características estructurales tales como altura de la planta, diámetro de la corona foliar, circunferencia y diámetro del tallo; debido a que el porcentaje de sombra en este mismo tipo de sombrío es mayor, por lo tanto, existe una menor radiación sobre el cacao, lo cual permite que se dé un mejor desarrollo fisiológico y metabólico.

- Los dos tipos de sombrío utilizados en el sistema agroforestal tienen influencia sobre los rasgos foliares e hidráulicos del tallo, sin embargo, los efectos positivos los ejerce el sombrío mixto en donde se obtuvieron mayores valores en el área foliar específica, contenido foliar de materia seca y densidad de la madera, variables que están relacionadas de manera positiva con la tasa fotosintética, contenido foliar de Nitrógeno y longevidad de la hoja.

- Se considera que bajo el sombrío por acacia las plantas tienen mayores condiciones de estrés que las hacen más susceptible a la incidencia de escobas y monilia.

### Referencias Bibliográficas

- Abou Rajab, Y., Leuschner, C., Barus, H., Tjoa, A., & Hertel, D. (2016). Cacao cultivation under diverse shade tree cover allows high carbon storage and sequestration without yield losses. *PLoS one*, 11(2), e0149949.
- Acuna, V., Antonio, R., Van den Meersche, K., Rapidel, B., & Avelino, J. (2016). Efecto de los árboles de sombra sobre el suelo, en sistemas agroforestales con café, incluyendo la fenología y fisiología de los cafetos.
- Agudelo-Castañeda, G. A., Cadena-Torres, J., Almanza-Merchán, P. J., & Pinzón-Sandoval, E. H. (2018). Desempeño fisiológico de nueve genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo la sombra de tres especies forestales en Santander, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(1), 223-232.
- Aguilera, H. (1978). Árboles maderables como sombra de café y cacao. *CATIE. Costa Rica*, 1- 14.
- Álvarez-Carrillo, F., Rojas-Molina, J., & Suárez-Salazar, J. C. (2015). Contribución de esquemas de fertilización orgánica y convencional al crecimiento y producción de *Theobroma cacao* L. bajo arreglo agroforestal en Rivera (Huila, Colombia). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 16(2), 307-314.
- Alvim, P. D. T. (1958). El problema del sombreado del cacao bajo el punto de vista fisiológico. *Agronomía (Perú)* v. 25 (92) p. 34-42.
- Andrade, B. M. S. et al. (2015) Uso da gliricídia (*Gliricidia sepium*) para alimentação animal em Sistemas Agropecuários Sustentáveis. *Scientia Plena*, v. 11, n. 4.
- Arcila, J., Farfán, F., Moreno, A. M., Salazar, L. F., & Hincapié, E. (2007). Sistemas de producción de café en Colombia.

Azuero Ramirez, S. A., & Useche Triviño, F. (2013). Yopo (*Anadenanthera peregrina*), Acacia (*Acacia mangium Wild*) y Melina (*Gmelina arborea*) tres especies arbóreas propicias para los sistemas silvopastoriles en el piedemonte llanero.

Barreiro, A. M. C., & Roche, L. A. (2000). *Diccionario de términos ambientales*. Centro Félix Varela

Brenes Soto, H. M. (2011). *Agroforestería*.

Buchanan, S., Isaac, M. E., Van den Meersche, K., & Martin, A. R. (2019). Functional traits of coffee along a shade and fertility gradient in coffee agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 93(4), 1261-1273.

Chamba, E., (2018). Efecto de cuatro niveles de sombra en el desarrollo vegetativo del cafeto (*Coffea arabica L.*) en sistemas agroforestales de la hacienda Cristal del cantón Loja. Universidad Nacional de Loja.

Chamorro, R. (1952). Contribución al problema del sombrío en cacao. *Acta Agronómica*, 2(1), 23-48.

Combe, J.; Budowski, G. (1979). Clasificación de las técnicas agroforestales. p. 17-48. En: De Las Salas., G. Taller de sistemas agroforestales en América latina. Turrialba : CATIE., 226 p

Cook, OF. (1901). Shade in coffee culture. Washington, US, Department of Agriculture. 79 p. (Bulletin no. 25).

Cornelissen, J. H. C., Lavorel, S., Garnier, E., Diaz, S., Buchmann, N., Gurvich, D. E., ... & Pausas, J. G. (2003). A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian journal of Botany*, 51(4), 335-380.

Delgado, D. C., Hera, R., Cairo, J., & Orta, Y. (2014). Samanea saman, árbol multipropósito con potencialidades como alimento alternativo para animales de interés productivo. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(3), 205-212.

Díaz, S., et al. (2016). The global spectrum of plant form and function. *Nature* 529, 167–171. <https://doi.org/10.1038/nature16489>

- Doria Durango, D. J., & Durango Galeano, J. M. (2020). *Revisión bibliográfica sobre el aceite de la semilla de campano (Samanea saman) propiedades fisicoquímicas y análisis proximal de la torta* (Doctoral dissertation).
- Dostert y Roque et al (2016) Hoja botánica: Cacao. Generalidades del cultivo de cacao. Programa Desarrollo Rural Sostenible. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Primera edición Lima Perú. Recuperado de: [http://www.botconsult.com/downloads/Hoja\\_Botanica\\_Cacao\\_2012.pdf](http://www.botconsult.com/downloads/Hoja_Botanica_Cacao_2012.pdf). Consultado el 27/06/2018
- Dubois, J. (1978) Plantas de interés confirmado o potencial para sistemas integrados agrícolas o agroforestales para los trópicos húmedos americanos. Belém, Brasil, IICA Trópicos, 13p.
- Espitia-Camacho, M., Araméndiz-Tatis, H., & Cardona-Ayala, C. (2020). Morphological characteristics and seed viability of *Schizolobium parahyba* (Vell.) SF Blake. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 23(1).
- Estrada, W., Romero, X., & Moreno, J. (2011). Guía técnica del cultivo de cacao manejado con técnicas agroecológicas. Recuperado de: [http://biblioteca.catie.ac.cr/descargas/Estrada\\_et\\_al\\_Guia\\_Tecnica\\_Cacao.pdf](http://biblioteca.catie.ac.cr/descargas/Estrada_et_al_Guia_Tecnica_Cacao.pdf).
- Farfan, V. (2003) Efecto del grado de sombreado sobre la producción en sistemas agroforestales con café. Editado en: Chinchiná (Colombia), Cenicafé, 2003. 1 p.
- Fedecacao. (2017). Estadísticas y recaudo. En: Federación Nacional de Cacaoteros y Fondo Nacional del Cacao. <http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-02-12-17-20-59/nacionales>; consulta: agosto de 2017
- Federación Nacional de Cacaoteros y Fondo de Estabilización de Precios del Cacao (2017). Informe de gestión del año 2017, Bogotá.
- FARFAN, F., & Urrego, J. B. (2005). Comportamiento de las especies forestales *Cordia alliodora* *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis* como sombrío e influencia en la productividad del café.

Gabriel, J., & Castro, C. (2017). Manual para evaluación de daños de enfermedades en cultivos agrícolas. Grupo COMPAS, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Ecuador. 53 p.

García Lozano, J. (2014). *Caracterización de las respuestas fisiológicas y bioquímicas en tres clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) sometidos a diferentes niveles de déficit hídrico* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).

Garnier E, Navas M (2012) A trait-based approach to comparative functional plant ecology: concepts, methods and applications for agroecology. A review. *Agron Sustain Dev* 32:365–399.

Garnier, E., Shipley, B., Roumet, C., & Laurent, G. (2001). A standardized protocol for the determination of specific leaf area and leaf dry matter content. *Functional ecology*, 15(5), 688- 695.

Hurtado, C. P. (2017, diciembre). *Flora Central Hidroeléctrica Sogamoso*. Flora central hidroeléctrica. Recuperado de: [https://www.academia.edu/41584586/Flora\\_Central\\_Hidroel%C3%A9ctrica\\_Sogamoso](https://www.academia.edu/41584586/Flora_Central_Hidroel%C3%A9ctrica_Sogamoso)

IDEAM, (2011). Sistemas agroforestales y restauración ecológica como medidas de adaptación al cambio climático en alta montaña. *Caso piloto, Proyecto Nacional de Adaptación al Cambio Climático–INAP–componente B, IDEAM y Conservación Internacional, Bogotá*.

Infocacao, (2016). *Establecimiento de la sombra para plantaciones nuevas de cacao* (N.º 7). [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)

ITTO. (2020). *Guapuruvu, Pachaco (*Schizobolium Pahyba*)*. Recuperado de: <http://www.tropicaltimber.info/es/specie/guapuruvu-schizobolium>

Jaimes Suárez, Y., & Aranzazu Hernández, F. (2010). *Manejo de las enfermedades del cacao (*Theobroma cacao* L) en Colombia, con énfasis en monilia (*Moniliophthora roreri*)* (No. Doc. 22739) CO-BAC, Bogotá).

Jaimez, R. et al. (2008). Ecofi-siología del cacao (*Theobroma cacao*): su manejo en el sistema agroforestal. Sugerencias para su mejoramiento en Venezuela. *Rev. For. Venez.* 52(2), 253-258.

Jiménez, V. (1980). El sombreado del cacao. In *Curso de Bases Ecológicas Turrialba (Costa Rica)* (No. CATIE J61s). CATIE, Turrialba (Costa Rica).

Kleinn, C. (2000). Inventario y evaluación de árboles fuera del bosque en grandes espacios. *Unasyva*, 200(51), 3.

Lima, V. et al. (2017). Growth, photosynthetic pigments and production of essential oil of long-pepper under different light conditions. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Vol. 89, no.2, pp. 1678-2690, ISSN: 1678-2690.

Loor Solórzano, R. G., Casanova Mendoza, T. D. J., & Plaza Avellán, L. F. (2016). Mejoramiento y homologación de los procesos y protocolos de investigación, validación y producción de servicios en cacao y café.

López, M., & Molina, L. (2007). Universidad Nacional Agraria Sistemas Agroforestales. Recuperado 14 octubre, 2019, de <http://repositorio.una.edu.ni/2443/1/nf08m538.pdf>

Luedeling, E., Kindt, R., Huth, N. I., & Koenig, K. (2014). Agroforestry systems in a changing climate—challenges in projecting future performance. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6, 1-7.)

Mamani Luque, E. M. (2019). Dendrocronología en Árboles de *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken., en el Sector La Joya–Tambopata–Madre de Dios.

Martin AR, Isaac ME (2015) Plant functional traits in agroecosystems: a blueprint for research. *J Appl Ecol* 52:1425–1435.

Martínez, A., & Enríquez, G. A. (1981). La sombra para el cacao.

Mendieta López, M., & Rocha Molina, L. R. (2007). Sistemas agroforestales.

- Miranda, S. (1938). Sombreamiento dos cacauaes. Bahía, Brasil, Livraria duas Americas 62 p.
- 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.
- Nair, P. R. (1993). *An introduction to agroforestry*. Springer Science & Business Media.
- Negret, B. E. S. (Ed.). (2016). *La ecología funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Ordoñez, Y., Andrade, H., Quirós, D., & Venegas, G. (2012). Dasometría y cubicación de la madera. *Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica*. CATIE. Turrialba, Costa Rica, 27-67.
- Perez Figueroa, C.A. (1954). Estudio forestal del laurel, *Cordia alliodora* (R. & P.) Cham., en Costa Rica. Tesis, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Turrialba, Costa Rica, 209 p.
- Pérez-Harguindeguy, N., Diaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., & Urcelay, C. (2013). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* 61: 167-234.
- Pérez-Harguindeguy, N., Diaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., ... & Urcelay, C. (2016). Corrigendum to: new handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of botany*, 64(8), 715-716.
- Pérez, J. J., & Huerta, I. (2002). Agroforestería y ética ambiental en la gerencia de sistemas de producción. *Revista Venezolana de Gerencia*, 7(17), 64-74.
- Pineda-Herrera, E., Manzano-Méndez, F., Valdez-Hernández, J. I., & Beltrán-Rodríguez, L. A. (2018). Crecimiento diamétrico de *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken en un sistema agroforestal de Oaxaca, México. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 15(37), 25-33.
- Posada, F., Gil, Z., & Castro, B. (2003). *El cultivo del tambor aspectos fitosanitarios limitativos en Colombia*.

ProDeSoc. (2006). Cultivo del Cacao en Sistemas Agroforestales. Recuperado 14 octubre, 2019, de <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A5288e/A5288e.pdf>

Ramírez, W. (2005). Manejo de sistemas agroforestales.

Rodríguez, G., Ediesummer, R. D. M. O., & Echeverry, N. V. (2013). Guía de cubicación de la madera. *Corporación Autónoma Regional del Risaralda–CARDER, Unión Europea, Grafica Budas SAS Pereira, Colombia*, 6-41.

Sánchez Gutiérrez, F., Pérez-Flores, J., Olan, O., Jesús, J., Sol Sánchez, Á., & Ruiz-Rosado, O. (2016). Árboles maderables en el sistema agroforestal de cacao en Cárdenas, Tabasco, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(SPE14), 2711-2723.

Somarriba, E. (2004). ¿Cómo evaluar y mejorar el dosel de sombra en cacaotales?.CATIE. vol. 41-42, 122-130

Sotomayor, A.; García, E.; González, M. y Lucero, A. 2008. Modelos agroforestales. Sistema productivo integrado para una agricultura sustentable. Instituto Forestal de Chile (INFOR), Castilla 109-C

Unidad de Gestión de Riesgos Agropecuarios -UGRA (2018). Inteligencia de mercado: Cacao, FINAGRO, versión II

Uribe Graciano, N. A. (2019) Efecto de la coinoculación de bradyrhizobium sp. y endomicorrizas en el desarrollo inicial de pseudosamanea guachapele (kunth) harms en fase de vivero en barbosa antioquia.

Watson, R. T., Noble, I. R., Bolin, B., Ravindranath, N. H., Verardo, D. J., & Dokken, D. J. (2000). *Land use, land-use change and forestry: a special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

Wezel, A., & Soldat, V. (2009). A quantitative and qualitative historical analysis of the scientific discipline of agroecology. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 7(1), 3-18.

Wright, I. et al. (2004). The worldwide leaf economics spectrum. *Nature* 428, 821–827.

Apéndices

**Apéndice A. Prueba de Normalidad de Shapiro Wilks (modificado) Características estructurales del sombrío**

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Dap_cm	20	23.69	6.58	0.98	0.9550
Diámetro_de_copa_m	20	8.37	1.45	0.96	0.7335
H total m	20	11.16	2.51	0.90	0.0925

Características estructurales de la planta

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
pH	100	5.25	0.39	0.92	<0.0001
VWC_%	100	29.49	6.42	0.95	0.0027
T_°C	100	32.25	1.91	0.73	<0.0001
Sombra_%	100	50.90	20.00	0.98	0.3920
AP_cm	100	325.92	49.15	0.91	<0.0001
DT_cm	100	16.46	4.77	0.99	0.8542
DCF_cm	100	367.70	91.72	0.97	0.1418
CT_cm	100	51.71	14.98	0.99	0.8541

## Apéndice B. Prueba de Normalidad de Shapiro Wilks (modificado)- Rasgos funcionales de la planta

### Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Área_foliar_cm2	500	159.68	93.99	0.90	<0.0001
Área_foliar_especifica_cm2..	500	156.79	85.78	0.32	<0.0001
Contenido foliar de materi..	500	382.18	57.55	0.61	<0.0001

### Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Densidad_de_la_madera_g/cm..	100	0.35	0.05	0.98	0.5201
Contenido máximo de agua e..	100	2724.73	346.10	0.94	0.0010

### Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Espesor foliar mm	5000	0.67	0.05	0.95	<0.0001

**Apéndice C. Prueba de Normalidad de Shapiro Wilks (modificado)- Estado fitosanitario de la planta**

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
INCIDENCIA DE ESCOBAS_§	100	7.10	9.00	0.78	<0.0001
INCIDENCIA DE MONILIA_§	100	1.55	5.00	0.38	<0.0001

**Apéndice D. Análisis de Varianza- Características estructurales de la planta -Diámetro de la corona foliar**

Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
DCF cm	100	0.10	0.09	23.82

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	80883.36	1	80883.36	10.54	0.0016
Tipo de sombrío	80883.36	1	80883.36	10.54	0.0016
Error	751955.64	98	7673.02		
Total	832839.00	99			

Apéndice E. Análisis de Varianza- Características estructurales de la planta – Circunferencia del tallo

Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
CT cm	100	0,02	0,01	28,86

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	396.15	1	396.15	1.78	0.1854
Tipo de sombrío	396.15	1	396.15	1.78	0.1854
Error	21825.45	98	222.71		
Total	22221.60	99			

Apéndice F. Análisis de Varianza- Características estructurales de la planta –Diámetro del tallo

Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
DT cm	100	0.02	0.01	28.86

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	40.13	1	40.13	1.78	0.1854
Tipo de sombrío	40.13	1	40.13	1.78	0.1854
Error	2211.34	98	22.56		
Total	2251.48	99			

**Apéndice G. Análisis de Varianza- Características estructurales de la planta –Porcentaje de Sombra**

Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Sombra	100	0.06	0.05	38.26

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2440.36	1	2440.36	6.43	0.0128
Tipo de sombrío	2440.36	1	2440.36	6.43	0.0128
Error	37170.64	98	379.29		
Total	39611.00	99			

**Apéndice H. Análisis de Varianza- Características estructurales del sombrío- Diámetro a la altura del pecho**

Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Dap cm	20	0.13	0.08	26.59

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	108.11	1	108.11	2.73	0.1160
Sombrío	108.11	1	108.11	2.73	0.1160
Error	713.73	18	39.65		
Total	821.85	19			

**Apéndice I. Análisis de Varianza- Características estructurales del sombrío- Diámetro de copa**

Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Diámetro de copa m	20	0.10	0.05	16.80

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.10	1	4.10	2.07	0.1674
Sombrío	4.10	1	4.10	2.07	0.1674
Error	35.65	18	1.98		
Total	39.75	19			

**Apéndice J. Análisis de Varianza- Características estructurales del sombrío- Altura del árbol**

Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
H total	m 20	3.6E-05	0.00	23.06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.3E-03	1	4.3E-03	6.4E-04	0.9800
Sombrío	4.3E-03	1	4.3E-03	6.4E-04	0.9800
Error	119.32	18	6.63		
Total	119.33	19			

Apéndice K. Análisis de Varianza- Rasgos funcionales – Densidad de madera

Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Densidad de la madera g/cm..	100	0.07	0.06	14.77

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.02	1	0.02	7.20	0.0086
Tipo de sombrio	0.02	1	0.02	7.20	0.0086
Error	0.26	98	2.7E-03		
Total	0.28	99			

Apéndice L. Prueba de Kruskal Wallis- Características estructurales- Altura de la planta

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tipo de sombrío	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
AP_cm	Acacia	50	307.44	45.59	313.50	21.43	<0.0001
AP_cm	Mixto	50	344.40	45.89	349.50		

**Apéndice M. Prueba de Kruskal Wallis- Características estructurales- Contenido volumétrico de agua****Prueba de Kruskal Wallis**

Variable	Tipo de sombrio	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
VWC %	Acacia	50	27.88	5.40	26.70	5.51	0.0189
VWC %	Mixto	50	31.09	6.99	30.00		

## Apéndice N. Prueba de Kruskal Wallis-Características estructurales- Temperatura

## Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tipo de sombrío	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
T °C	Acacia	50	31.46	2.36	32.55	14.77	0.0001
T °C	Mixto	50	33.04	0.74	33.30		

## Apéndice O. Prueba de Kruskal Wallis- Características estructurales- Ph

## Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tipo de sombrio	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
pH	Acacia	50	5.37	0.44	5.30	7.27	0.0068
pH	Mixto	50	5.13	0.29	5.10		

Apéndice P. Prueba de Kruskal Wallis-Rasgos funcionales- Área foliar

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Sombrío	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Área_foliar_cm2	Acacia	250	167.24	94.82	157.99	4.50	0.0338
Área_foliar_cm2	Mixto	250	152.12	92.72	125.98		

## Apéndice Q. Prueba de Kruskal Wallis-Rasgos funcionales- Área foliar específica

## Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Sombrio	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Área_foliar_especifica_cm2..	Acacia	250	161.16	117.27	147.16	0.97	0.3238
Área_foliar_especifica_cm2..	Mixto	250	152.42	30.92	148.96		

**Apéndice R. Prueba de Krukal Wallis-Rasgos funcionales- Contenido foliar de materia seca**

## Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Sombrio	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Contenido foliar de materi..	Acacia	250	384.48	75.79	377.64	0.07	0.7870
Contenido foliar de materi..	Mixto	250	379.87	29.71	379.69		

**Apéndice S. Prueba de Kruskal Wallis-Rasgos funcionales- Contenido máximo de agua en el tallo**

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tipo de sombrio	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Contenido_máximo_de_agua_e..	Acacia	50	2789.07	402.53	2766.98	6.97	0.0083
Contenido máximo de agua e..	Mixto	50	2660.39	267.48	2618.78		

## Apéndice T. Prueba de Kruskal Wallis-Rasgos funcionales- Espesor foliar

## Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Sombrio	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Espesor_foliar_mm	Acacia	2500	0.71	0.05	0.71	2240.50	>0.9999
Espesor_foliar mm	Mixto	2500	0.64	0.03	0.63		

Apéndice U. Prueba de Kruskal Wallis-Estado fitosanitario-Incidencia de escobas

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Sombrio	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
INCIDENCIA_DE_ESCOBAS_§	Acacia	50	8.72	8.12	7.49	8.03	0.0033
INCIDENCIA DE ESCOBAS_§	Mixto	50	5.49	9.60	0.00		

Apéndice V. Prueba de Kruskal Wallis-Estado fitosanitario-Incidencia de Monilia

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Sombrio	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
INCIDENCIA_DE_MONILIA_%	Acacia	50	2.07	6.24	0.00	0.14	0.5056
INCIDENCIA DE MONILIA %	Mixto	50	1.02	3.31	0.00		

**Apéndice W. Análisis de componentes principales.**

**Análisis de componentes principales**

*Datos estandarizados*

*Casos leídos 100*

*Casos omitidos 0*

**Variables de clasificación**

Árbol

**Matriz de correlación/Coeficientes**

	AP cm	DT cm	Densidad de la madera g/cm..			
	Contenido máximo de agua e..		Área foliar específica cm2..		Contenido foliar	
	de mater..	Espesor mm	Área foliar cm2	pH	Sombra %	VWC %
AP_cm	1,00					
DT_cm	0,39	1,00				
Densidad_de_la_madera_g/cm..			0,23	0,09	1,00	
Contenido_máximo_de_agua_e..			-0,32	-0,08	-0,41	1,00
Área_foliar_especifica_cm2..			-0,04	-0,09	-0,03	-0,02
1,00						
Contenido_foliar_de_mater..			0,13	0,03	0,02	-0,16
-0,43			1,00			
Espesor_mm			-0,28	-0,10	-0,25	0,25
-0,23			0,06	1,00		
Área_foliar_cm2			-0,01	-0,01	-0,07	0,05
0,12			-0,03	0,03	1,00	
pH			-0,01	-0,03	0,02	-0,03
0,10			-0,10	0,08	0,08	1,00
Sombra_%			-0,04	-0,17	-0,03	-0,12
0,23			-0,03	-0,26	0,09	-0,13
					1,00	
VWC %			0,27	0,27	-0,01	-0,03
0,07			-0,04	-0,23	-0,15	0,09
					0,06	1,00

**Matriz de correlación/Probabilidades**

	AP cm	DT cm	Densidad de la madera g/cm..		
	Contenido máximo de agua e..	Área foliar específica cm2..	Contenido foliar		
de mater..	Espesor mm	Área foliar cm2	pH	Sombra %	VWC %
AP_cm					
DT_cm	0,0001				
Densidad_de_la_madera_g/cm..		0,0219	0,3689		
Contenido_máximo_de_agua_e..	0,0013	0,4487		<0,0001	
Área_foliar_específica_cm2..	0,6570	0,3959	0,8043		0,8678
Contenido_foliar_de_mater..	0,1905	0,7870	0,8731		0,1235
<0,0001					
Espesor_mm		0,0055	0,3101	0,0114	0,0134
0,0223	0,5808				
Área_foliar_cm2		0,9027	0,9507	0,5122	0,5922
0,2412	0,7540	0,7758			
pH	0,9161	0,7832	0,8687		0,7928
0,2990	0,3244	0,4140	0,4503		
Sombra_%		0,6802	0,0993	0,7520	0,2294
0,0212	0,7796	0,0083	0,3621	0,2088	
VWC_%		0,0069	0,0070	0,9472	0,7577
0,4768	0,7149	0,0217	0,1241	0,3765	0,5628

**Autovalores**

Lambda	Valor	Proporción	Prop Acum
1	2,13	0,19	0,19
2	1,70	0,15	0,35
3	1,35	0,12	0,47
4	1,16	0,11	0,58
5	1,04	0,09	0,67
6	0,92	0,08	0,75
7	0,63	0,06	0,81
8	0,59	0,05	0,86
9	0,54	0,05	0,91
10	0,50	0,05	0,96
11	0,45	0,04	1,00

**Autovectores**

Variables	e1	e2		
AP_cm	0,50	-0,13		
DT_cm	0,34	-0,20		
Densidad_de_la_madera_g/cm..		0,39	-0,02	
Contenido_máximo_de_agua_e..		-0,43	0,01	

Área_foliar_especifica_cm2..	0,02	0,63
Contenido_foliar_de_mater..	0,09	-0,49
Espesor_mm	-0,42	-0,32
Área_foliar_cm2	-0,10	0,17
pH	-0,03	0,09
Sombra_%	0,08	0,41
VWC %	0,31	0,08

**Correlaciones con las variables originales**

Variables	CP 1	CP 2
AP_cm	0,73	-0,16
DT_cm	0,49	-0,26
Densidad_de_la_madera_g/cm..	0,56	-0,03
Contenido_máximo_de_agua_e..	-0,63	0,01
Área_foliar_especifica_cm2..	0,04	0,82
Contenido_foliar_de_mater..	0,14	-0,64
Espesor_mm	-0,61	-0,42
Área_foliar_cm2	-0,15	0,22
pH	-0,04	0,12
Sombra_%	0,12	0,54
VWC %	0,45	0,10

*Correlación cofenética= 0,692*