

Evaluación del efecto de cuatro niveles de luminosidad y tres tipos de estrobulurinas en el crecimiento vegetativo, rendimiento de frutos por planta e incidencia de enfermedades en *Coffea arabica* (var. Villa Sarchí) en Barva de Heredia, Costa Rica

María Monge Ureña

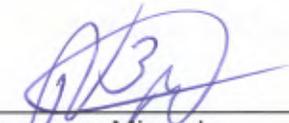
**PRACTICA DIRIGIDA PRESENTADA PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
LICENCIADO EN INGENIERÍA AGRONÓMICA**

ESCUELA DE AGRONOMÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS  
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

2019

María Monge Ureña

Evaluación del efecto de cuatro niveles de luminosidad y tres tipos de estrobilurinas en el crecimiento vegetativo, rendimiento de frutos por planta e incidencia de enfermedades en *Coffea arabica* (var. Villa Sarchí) en Barva de Heredia, Costa Rica

  
\_\_\_\_\_  
Miguel Barquero Miranda

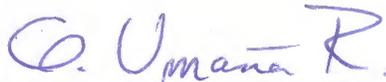
DIRECTOR DE PRÁCTICA DIRIGIDA

  
\_\_\_\_\_  
Álvaro Segura Monge

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

  
\_\_\_\_\_  
Óscar Castro Zúñiga

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

  
\_\_\_\_\_  
Gerardina Umaña Rojas

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

  
\_\_\_\_\_  
Luis Gómez Alpízar

DIRECTOR DE ESCUELA

  
\_\_\_\_\_  
María Monge Ureña

SUSTENTANTE

## **DEDICATORIA**

A Dios porque siempre me ha bendecido.

A mi madre Lorena Ureña Ceciliano, a mi padre Juan Vicente Monge Monge y mis hermanos Esteban Monge Ureña, Susana Monge Ureña e Ignacio Monge Ureña por todo el apoyo que me han brindado en este proceso.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al CICAFFE por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto en la institución.

A mi asesor Miguel Barquero y a María José Cordero por acompañarme e instruirme durante este proceso de aprendizaje.

A mi amiga Ivania Moraga por todo su apoyo incondicional.

## Índice de contenido

Índice de Figuras.....	7
Índice de cuadros.....	10
1. Introducción.....	12
2. Antecedentes.....	13
2.1 Generalidades del café.....	13
2.2 Generalidades de la variedad Villa Sarchí.....	14
2.3 Fisiología y fenología del café.....	14
2.4 Efecto de la sombra sobre la fisiología y fenología del café.....	15
3. Objetivos.....	19
3.1 Objetivo general.....	19
3.2 Objetivos específicos.....	19
4. Metodología.....	20
5. Resultados y discusión.....	22
5.1 Efecto sobre el microclima.....	22
5.1.1 Lluvia.....	22
5.1.2 Temperatura promedio del aire.....	23
5.1.3 Radiación solar.....	24
5.1.4 Humedad relativa promedio.....	26
5.2.1 Altura.....	28
5.2.3 Largo de bandola.....	32
5.2.4 Nudos plagiotrópicos.....	34
5.2.5 Número de hojas.....	36
5.3 Efecto sobre la calidad del café.....	48
5.4 Efecto de los diferentes porcentajes de sombrío sobre plagas y enfermedades.....	51
5.4.1 Enfermedades.....	51
5.5.3 Malezas.....	56
6 Conclusiones y recomendaciones.....	58

5. Literatura citada .....	59
6. Anexos.....	65

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> Distribución espacial de los tratamientos de sombra y productos fungicidas utilizados en el ensayo en las parcelas establecidas. Heredia, Costa Rica.2019.	21
<b>Figura 2.</b> Lluvia (mm/m <sup>2</sup> ) y temperatura (°C) de Barva de Heredia de la semana 1 a la 49 del año 2018.....	23
<b>Figura 3.</b> Temperatura del aire promedio (°C) en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrero, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica. 2018.....	24
<b>Figura 4.</b> Radiación (W/m <sup>2</sup> ) en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrero, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica. 2018. ....	26
<b>Figura 5.</b> Humedad promedio (%) en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrero, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica. 2018. ....	27
<b>Figura 6.</b> Crecimiento acumulado de las plantas en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrero, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica.....	29
<b>Figura 7.</b> Tendencia del crecimiento ortotrópico en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrero, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica.....	30
<b>Figura 8.</b> Cantidad de nudos ortotrópicos en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrero, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva, Costa Rica. ....	31
<b>Figura 9.</b> Tendencia de la cantidad de nudos ortotrópicos en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrero, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica. ....	32
<b>Figura 10.</b> Crecimiento plagiotrópico en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrero, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica. ....	33

<b>Figura 11.</b> Tendencia del crecimiento plagiotrópico en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrío, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica. ....	34
<b>Figura 12.</b> Cantidad de nudos plagiotrópicos en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrío, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica. ....	35
<b>Figura 13.</b> Tendencia de la cantidad de nudos plagiotrópicos en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrío, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica. ....	36
<b>Figura 14.</b> Cantidad de hojas de las plantas en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrío, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica. ....	38
<b>Figura 15.</b> Fanegas por hectárea en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrío, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018 CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica. ....	39
<b>Figura 16.</b> Cantidad de granos sanos, amarillos y negros de las plantas en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrío, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica. ....	40
<b>Figura 17.</b> Cantidad de granos iniciales y finales de las plantas en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrío, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica. ....	42
<b>Figura 18.</b> Pérdida de granos de las plantas en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrío, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica. ....	43
<b>Figura 19.</b> Tipo de semilla presente en los granos en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrío, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica. ....	44
<b>Figura 20.</b> Cantidad de granos sanos, amarillos y negros de las plantas con la aplicación de diferentes fungicidas en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrío, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica. ....	46

<b>Figura 21.</b> Cantidad de granos iniciales y finales de las plantas con la aplicación de diferentes fungicidas en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrero, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica.....	46
<b>Figura 22.</b> Pérdida de granos de las plantas con la aplicación de diferentes fungicidas en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrero, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica. ...	47
<b>Figura 23.</b> Pérdida de granos de las plantas de los diferentes bloques de sombra y fungicidas del período de la semana 43 a la 49 del año 2018 CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica. ....	48
<b>Figura 24.</b> Puntaje de catación del café en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrero, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica. ....	51
<b>Figura 25.</b> Porcentaje de incidencia y severidad de la roya ( <i>Hemileia vastatrix</i> ) en las plantas bajo diferentes niveles de sombrero, del período las la evaluación realizada en el mes de julio del 2019, Barva de Heredia. ....	53
<b>Figura 26.</b> Porcentaje de incidencia y severidad de Antracnosis ( <i>Colletotrichum</i> spp.) en las plantas bajo diferentes niveles de sombrero, del período las la evaluación realizada en el mes de julio del 2019, Barva de Heredia. ....	54
<b>Figura 27.</b> Porcentaje de incidencia y severidad de ácaros en los diferentes bloques de sombra del período las la evaluación realizada en el mes de julio del 2019, Barva de Heredia.....	56

## Índice de cuadros

<b>Cuadro 1.</b> Nombre comercial, ingrediente activo y dosis de los productos utilizados en el ensayo Heredia, Costa Rica. 2019. ....	21
<b>Cuadro 2.</b> Diferentes sabores presentes en el café de los diferentes porcentajes de sombra según los resultados de la catación realizada. ....	49
<b>Cuadro 3.</b> Familia, porcentaje de cobertura (%) y altura de las malezas encontradas en los diferentes tratamientos de sombra. ....	56

## Resumen

En Costa Rica el sistema de producción de café convencional es muy utilizado, donde la siembra se realiza en altas densidades, con eliminación o reducción de la sombra y utilización intensiva de insumos sintéticos externos. Sin embargo, existe poca información sobre cuál es el porcentaje óptimo de luminosidad que se debe utilizar para las condiciones de Barva de Heredia. Por esta razón, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de cuatro sistemas de sombrero y de tres moléculas de fungicidas (Azoxystrobin, Pyraclostrobin, y Trifloxystrobin), en el crecimiento vegetativo, el rendimiento de frutos por planta e incidencia de enfermedades del cafeto en una plantación ubicada en Barva de Heredia, Costa Rica. Los resultados obtenidos indican que no existen diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo en la producción obtenida al utilizar diferentes tipos de estrobirulinas. Además, se observó un efecto de la sombra sobre el microclima del cafetal ya que a mayor porcentaje de sombra la temperatura y la radiación disminuyen en el sistema, mientras que la humedad aumenta. Esto genera que el rendimiento de las plantas de café disminuya conforme se aumenta la sombra, ya que la capacidad fotosintética de la planta disminuye. Además, los resultados obtenidos muestran que no existen diferencias significativas en la producción al utilizar las diferentes estrobirulinas comparado con el testigo. Respecto a la calidad del café se observó que la mayor calidad de café lo obtuvieron las plantas cultivadas a porcentajes de sombra del 30% y 0%. Asimismo, los resultados obtenidos en la incidencia de plagas y enfermedades, se observó que al haber menor sombra existe una mayor incidencia. Por esta razón la conclusión de esta investigación es que la utilización de sombra es recomendada para la prevención de enfermedades y plagas, sin embargo, esta no puede ser mayor al 50% ya que afecta el rendimiento.

## **1. Introducción**

El café es uno de los principales productos de origen agrícola que se comercializa en los mercados internacionales, segundo en valor durante muchos años entre los bienes transables a nivel mundial, únicamente superado por el petróleo (ICAFE 2014). Esta planta es un arbusto perenne cuyo ciclo de vida en condiciones comerciales alcanza hasta 20-25 años dependiendo de las condiciones o sistema de cultivo (Arcila et al. 2007).

Esta especie posee un ciclo anual que varía dependiendo de factores climáticos como radiación solar e insolación, temperatura y humedad. Por esta razón, es que los contrastes climáticos durante un ciclo anual, expresados en las estaciones, desempeñan un papel importante para el desarrollo fenológico de las plantas (Villers et al. 2009). Igualmente, eventos meteorológicos tales como lluvia, temperatura y radiación solar son los reguladores principales en la floración y desarrollo del fruto pudiendo afectar o beneficiar la planta del cafeto (Villers et al. 2009).

El café es un cultivo de fotoperiodo corto ya que requiere para florecer, menos de 13 horas sol por día; los valores más frecuentes en las zonas cafetaleras están entre 1600 y 2000 horas sol por año. El rango de temperatura óptima para el café es de 15 a 24 °C, temperaturas más altas de los 25 °C reducen la tasa fotosintética de la planta (Elser, 2014). Otro factor que puede generar alteraciones en el desarrollo fisiológico y producción de este cultivo es la utilización de sombra dentro de la plantación ya que esto modifica el microclima de la misma. Según Villarreyna (2016), los cafetales bajo sombra mantienen sus hojas durante el verano y comienzan el proceso de revestimiento con el inicio de las lluvias, mientras que los cafetales a pleno sol pierden rápidamente sus hojas en el verano y comienzan el proceso de revestimiento aún antes de las lluvias.

También, la incidencia de enfermedades dentro de la plantación juega un papel fundamental sobre el crecimiento, productividad y rentabilidad de las mismas. (Aguilar, 2005). Se han encontrado que las condiciones climáticas producidas por la utilización de sombra afectan el combate de la roya. Sin embargo, para controlar

adecuadamente esta enfermedad se requiere realizar un combate químico oportuno buscando alternativas sostenibles para el uso de los mismos (Virginio y Astorga 2015).

En Costa Rica, el sistema de producción de café convencional es muy utilizado, la siembra se realiza en altas densidades, con eliminación o reducción de la sombra y utilización intensiva de insumos sintéticos externos (Samayoa y Sánchez, 2001). Actualmente hay pocas propuestas de sistemas de manejo de café para responder a estos problemas. Sin embargo, una sugerencia es la incorporación de árboles en el sistema de producción, ya que en un sistema agroforestal se logran combinar muchos beneficios de un sistema agrícola y propicia una caficultura sostenible (Muschler, 2000). Asimismo, Muschler (2000) menciona que cafetales bajo poca o ninguna sombra son menos rentables ya que son más susceptibles al ataque de ciertas enfermedades como chasparria (*Cercospora coffeicola*) y antracnosis (*Colletotrichum* spp.) (Samayoa y Sánchez, 2001). Por esta razón, el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de cuatro intensidades de luminosidad (sombra: 0, 30, 50 y 70) y de tres moléculas de fungicidas (Azoxystrobin, Pyraclostrobin, y Trifloxystrobin), sobre el crecimiento vegetativo, el rendimiento de frutos por planta e incidencia de enfermedades del cafeto en una plantación ubicada en Barva de Heredia, Costa Rica.

## **2. Antecedentes**

### **2.1 Generalidades del café**

El cafeto es un arbusto tropical de hojas verdes perteneciente a la familia Rubiaceae y género *Coffea* que crece en zonas de moderada humedad a 600 a 1.200 metros de altura (Gotteland y Saturnino 2007). Este género comprende muchas especies, sin embargo, sólo se cultivan arábica y robusta, las cuales a su vez presentan distintas variedades. Esta planta produce frutos carnosos rojos o púrpuras llamados cerezas de café con dos núcleos que contienen cada uno un grano o semilla de café de color verde (Gotteland y Saturnino 2007).

El ciclo de vida del café consta de tres fases, una es el desarrollo vegetativo donde ocurre la formación de estructuras no reproductivas como las raíces, las ramas, los nudos y las hojas, actividad denominada desarrollo vegetativo. La fase durante la cual ocurre la formación y desarrollo de estructuras de reproducción como las flores y los frutos se denomina desarrollo reproductivo y por último la fase de senescencia o envejecimiento. Sin embargo, estas fases permanecen por períodos de corta o larga duración, dependiendo de sus características genéticas y de las condiciones ambientales que ocurran en el sitio de cultivo (Arcila et al. 2007).

## **2.2 Generalidades de la variedad Villa Sarchí**

El café Villa Sarchí es una mutación natural de una población borbónica con una mutación de un solo gen que hace que la planta se haga más pequeña (llamada "CTCT"). La variedad se descubrió en Costa Rica en la década de 1950 o 1960 en la región noroeste de la provincia de Alajuela (Sarchí de Valverde Vega en la Finca La Luisa), y posteriormente se sometió a un proceso de selección. Es conocido por estar bien adaptado a las condiciones de mayor altitud. (WCR, sf).

Villa Sarchi es quizás más conocida como uno de los homónimos del grupo de cafés "Sarchimor". De 1958 o 1959, el Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro de Portugal (CIFC), famoso por su investigación sobre la roya de la hoja de café, cruzo unas plantas del híbrido de Timor: HDT CIFC 832/2 (conocido por su resistencia a la roya) con la planta Villa Sarchi (de porte pequeño) para crear el híbrido 361 (H361) que dio origen a los cafés del grupo de los Sarchimores. (WCR, sf).

## **2.3 Fisiología y fenología del café**

Según Villers et al. (2009) el café es sensible a elementos climáticos como la temperatura y precipitación. Estos parámetros están relacionados con la altitud, orientación de ladera y pendiente en los sistemas agroecológicos de sombra. La sombra puede afectar el microclima de la plantación debido a que genera protección sobre el impacto de la lluvia, el viento y el sol (Granados et al. 2008). Esto puede generar cambios en la morfología foliar de la planta, como el aumento del área

individual de las hojas, reducción del espesor de las hojas, menor número de estomas por  $\text{cm}^2$  y la velocidad a la que las hojas se renuevan, la cual tiende a ser menor en comparación con pleno sol (López et al. 2012).

Los cafetales expuestos al sol muestran una tasa fotosintética menor comparados con un cafetal bajo sombra lo cual se puede deber a que las hojas de café están sujetas a foto-inhibición y a foto-respiración en condiciones de alta radiación, esto no permite fotosíntesis e incluso puede provocar daños permanentes en el aparato fotosintético (Chaves et al. 2008). También, la floración se puede ver afectada por factores ambientales como el fotoperiodo, la distribución de los períodos húmedos y secos y la temperatura. Estos pueden generar que la floración se concentre o disperse durante el año (Camayo et al. 2003).

Es importante considerar que las condiciones ambientales varían en los diferentes países productores de café, por lo que es muy difícil hacer generalizaciones del manejo agronómico de este cultivo (Aguilar, 2005). Asimismo, el mundo moderno está viviendo cambios ambientales diversos entre ellos una acentuada variabilidad climática como fuertes eventos de El Niño y calentamiento global (Rosales, 2013). Estos cambios pueden provocar afectaciones sobre el desarrollo fenológico y producción de este cultivo por lo que es importante establecer el impacto de las diferentes condiciones ambientales sobre este para lograr un manejo que se adecue a estos cambios (Rosales, 2013).

#### **2.4 Efecto de la sombra sobre la fisiología y fenología del café**

Actualmente el café se cultiva en un rango muy amplio de condiciones agroecológicas y bajo una alta diversidad en su manejo. Se ha sembrado en numerosas plantaciones especializadas con sombra permanente y también, en las últimas décadas se ha implementado exitosamente el sistema a pleno sol con o sin barreras circundantes (Aguilar 2005).

Existen investigaciones fenológicas que se centran en la observación de cambios en la morfología de la planta, con aparición, transformación o desaparición relativamente rápida de determinados órganos o distintos acontecimientos, que se

denominan fenómenos fenológicos (Arcila et al. 2007). Este tipo de estudios son importantes para realizar un manejo adecuado del cultivo de café ya que para esto se requiere un amplio conocimiento de la planta en lo que respecta a su crecimiento, desarrollo y producción, así como de los factores que los afectan. (Arcila et al. 2007).

Respecto al efecto de la utilización de sombra sobre el crecimiento y producción del café, se realizó un estudio donde se evaluó el efecto de la sombra en la producción de café., Se utilizaron dos estratos, con porcentajes de sombra de 64 y 31 por ciento. Los resultados obtenidos muestran que el primer estrato presentó un exceso de sombra, afectando el rendimiento del cultivo de café (Pérez et al. 2011). Igualmente, en Colombia se evaluó el efecto del sombrío de 5 diferentes especies arbóreas sobre el crecimiento y producción del café, los resultados señalan que los porcentajes de sombra del 47% y 52% influyen positivamente sobre la productividad del café. Sin embargo, porcentajes superiores al 55% la afectan negativamente (Fárfan y Jaramillo, 2010).

En Nicaragua, se realizó un ensayo para comparar el crecimiento de la planta de café bajo el efecto de tres sistemas de manejo de sombra con y sin fertilización y plena exposición solar con diferentes tipos de fertilización. Los resultados obtenidos evidencian que a corto plazo los mejores resultados los alcanza el sistema de café sombra sin fertilizante, sin embargo, a largo plazo (2 años) el mayor crecimiento y rendimiento los obtuvo el sistema a pleno sol con fertilizante (Aguilar, 2005).

Asimismo, en Nicaragua, se llevó a cabo un estudio para determinar el efecto de la utilización de árboles de sombra sobre la producción del café, los resultados demuestran que los cafetales donde se utilizan especies arbóreas y nivel de sombra adecuada pueden llegar a la misma producción que el cultivo a pleno sol (Quesada et al. 2011). También, los sistemas con sombra mejoran la calidad y las condiciones ecológicas de las plantaciones (Quesada et al. 2011).

Por otra parte, en Cuba se realizó un estudio para definir las variaciones en el microclima de parcelas bajo diferentes manejos de sombra y a plena exposición solar. Para esto, se realizó la medición de la temperatura y el déficit de presión de vapor del aire, y los registros de la humedad del suelo en diferentes momentos del

ciclo anual (Velazco et al. 2001). Los resultados muestran que las distintas variantes de sombreado superan los umbrales establecidos de irradiancia, por otra parte, los valores medios de la temperatura del aire con frecuencia sobrepasan los 24°C y los niveles de humedad del suelo fueron sistemáticamente superiores comparados con la parcela expuesta al sol (Velazco et al. 2001). Según Villareyna (2016), al comparar el cafeto cultivado a pleno sol y bajo sombra, se observa un desarrollo más lento del grano del último sistema, con una maduración más tardía, pero más pareja y mayor tamaño del grano.

## **2.5 Principales enfermedades del café**

Un mal manejo de la sombra puede generar una disminución en la producción y crear un ambiente microclimático beneficioso para el desarrollo de enfermedades, que pueden llegar a ser severas como la roya (*Hemilella vastatrix*) (Naranjo 2018). Según un estudio realizado por Hernández (2010), al utilizar sombra en los cafetales el derrite, antracnosis, ojo de gallo y mal de hilachas muestran incidencias bajas en estas condiciones, sin embargo, la roya muestra mayor incidencia bajo estas condiciones.

Esta última es la principal enfermedad del café, el ciclo de esta enfermedad generalmente inicia en junio y termina en mayo, sin embargo, la mayor incidencia y severidad de la esta se presenta en diciembre. Esta enfermedad provoca defoliación de la planta y el secamiento de las ramas si no se realiza un manejo adecuado de la misma (Hernández 2010). Según investigaciones realizadas, la infección se inicia a través de los estomas, las uredosporas pueden germinar en una hora después de que existe presencia de agua y la formación de los apresorios se da en 48 horas. Los síntomas aparecen a los 14 días después de la inoculación y la esporulación comienza después de 2 a 4 días de que aparecen los síntomas. La germinación es inhibida por la alta insolación y las noches húmedas favorecen la mayor infección (García, 2013).

Según el ICAFE (2011), la roya es una enfermedad que está presente en todo Costa Rica principalmente en zonas cafetaleras de altura media y baja, además, está presente durante la mayor parte del año. Esta enfermedad se ve favorecida por las

temperaturas cálidas y ambientes húmedos y lluviosos. Los síntomas consisten en la formación de manchas con apariencia amarillenta en la parte superior de la hoja y la formación de un polvo anaranjado en el envés de la hoja. Las lesiones viejas pueden mostrar un color negro con borde amarillento, sobre todo al inicio de la época lluviosa. En ataques severos, el daño principal es provocado por la caída de gran cantidad de hojas lo que causa un debilitamiento general de la planta, una maduración muy irregular de la cosecha y una reducción de la producción para el siguiente año, alrededor de un 20%.

En el caso de la sombra, se sabe que afecta el desarrollo de la roya en diferentes vías, según Naranjo (2018) el tipo de sombra como su regulación pueden favorecer o perjudicar el desarrollo de la enfermedad. Asimismo, menciona que la sombra tiene efectos opuestos sobre la roya, en época lluviosa favorece la dispersión de las uredosporas, debido a que el agua se acumula en las hojas del árbol de sombra formando gotas grandes de agua, las cuales caen con más fuerza y producen el salpique. Sin embargo, en época seca la sombra disminuye la dispersión de las uredosporas, pues los árboles interceptan las que son transportadas por el viento.

Respecto al ojo de gallo el ICAFE (2011) menciona que es una enfermedad que se presenta principalmente en zonas altas de cultivo, se ve favorecida por condiciones de precipitaciones constantes, alta humedad y temperaturas frescas. Los síntomas consisten en manchas circulares de color café grisáceo que se desarrollan sobre las hojas, los tallos tiernos y los frutos; donde se forman las gemas durante la época lluviosa.

El daño principal es la caída de hojas que causa un debilitamiento en la planta y una reducción de la cosecha para el siguiente año, también una caída de frutos que reduce la cosecha presente en la planta. Cuando no existe un manejo adecuado, la plantación puede sufrir una defoliación del 95 % entre los meses de setiembre y octubre, así como una reducción de la cosecha de un 80% (ICAFE, 2011).

Los principales fungicidas utilizados para el combate de las enfermedades en café son los compuestos triazoles. Sin embargo, actualmente el cafeto es afectado por más patógenos, por esto surge la necesidad de utilizar nuevos productos con otros

compuestos. Por esta razón, otros productos han emergido al mercado en los últimos años que tienen la propiedad de afectar esta enfermedad en su fase de esporulación, al contrario de los triazoles (Chávez, 2013). Se trata de las estrobilurinas, estos fungicidas tienen acción de profundidad o movimiento translaminar y actúan en el mesófilo foliar. Tienen una translocación vascular mínima. Su actividad tiene lugar en las mitocondrias, donde inhibe el transporte de electrones de la cadena respiratoria, concretamente en la posición del complejo citocromo-bc1. Estos fungicidas tienen la posibilidad de actuar sobre el proceso de esporulación de la roya, razón por la cual se consideran como erradicantes (Rivilla et al. 2011).

Existe poca información sobre el efecto de este tipo de fungicidas y su relación con diferentes intensidades de luminosidad en el cafeto. En Costa Rica, se realizó un ensayo para comparar el efecto de fungicidas de las familias triazoles y estrobilurinas en el combate de ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en el cultivo del café. Los mejores resultados se obtuvieron con la aplicación de MCW 710 el cual constituye una mezcla de triazol y estrobilurinas (Chávez 2013).

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Evaluar el efecto de cuatro sistemas de sombrero y de tres moléculas de fungicidas (Azoxystrobin, Pyraclostrobin, y Trifloxystrobin), en el crecimiento vegetativo, el rendimiento de frutos por planta e incidencia de enfermedades del cafeto en una plantación ubicada en Barva de Heredia, Costa Rica.

#### **3.2 Objetivos específicos**

3.2.1 Comparar el efecto de los niveles de sombra utilizados sobre el crecimiento vegetativo del café.

3.2.2 Comparar el efecto de los niveles de sombra y los fungicidas utilizados sobre el rendimiento de frutos por planta.

3.2.3 Describir la incidencia de enfermedades en los distintos tratamientos.

#### **4. Metodología**

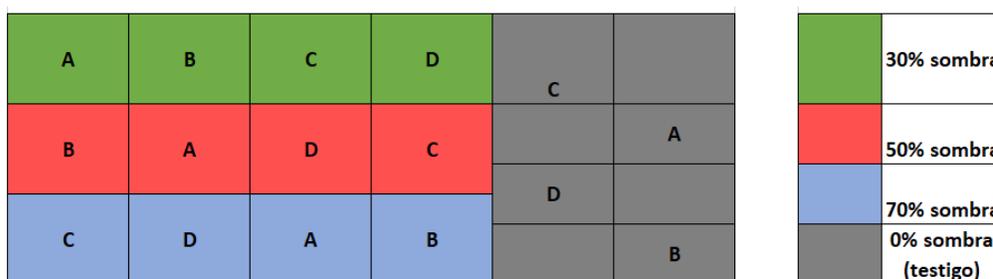
El estudio se llevó a cabo en el año 2018 en el Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE) ubicado en Barva, Heredia con una Altitud promedio de 1180 m.s.n.m, la lluvia acumulada en el 2017 fue de 2605mm, la temperatura anual promedio de 18,8°C, humedad relativa promedio de 83.8% y viento anual promedio de 1.76 Km/h, estos datos corresponden al año 2017.

Se delimitaron 4 lotes de 300 m<sup>2</sup> que presentan características físicas y químicas similares a los cuales se les aplicó un mismo manejo agronómico. Cada lote constó de 5 hileras de 30 plantas de café variedad Villa Sarchí las cuales son podas de un año, las cuales fueron establecidas con distancias de siembra de 2 x 1 metros y poda total en el 2017. Se colocó sarán o malla de sombra de 0%, 30%, 50% y 70% en la respectiva parcela, el testigo estuvo expuesto al sol. Cada lote de 300 m<sup>2</sup> se dividió en cuatro lotes de 75 m<sup>2</sup> y se realizó la aplicación de los tratamientos de fungicidas en los cuatro sistemas de sombrero.

Los fungicidas utilizados (Cuadro 1) son el Pyraclostrobin, a una dosis de 0.887L/Ha, Azoxystrobin a una dosis de 200g/Ha, Tryfloxystrobin , a una dosis de 0.5Kg/Ha y el testigo donde no se realizó la aplicación de fungicida. El volumen de agua de aplicación es de aproximadamente 600 litros de agua por hectárea. La distribución espacial de los fungicidas en los lotes se muestran en la figura 1.

**Cuadro 1.** Nombre comercial, ingrediente activo y dosis de los productos utilizados en el ensayo Heredia, Costa Rica.2019.

Producto	Nombre comercial	Ingrediente Activo	Dosis
<b>A</b>	Regnum 25 EC	Pyraclostrobin	222 g/ia
<b>B</b>	Amistar 50 WG	Azoxystrobin	100 g/ia
<b>C</b>	Flint 50WG	Trifloxystrobin	250 g/ia
<b>D</b>	Testigo		



**Figura 1** Distribución espacial de los tratamientos de sombra y productos fungicidas utilizados en el ensayo en las parcelas establecidas. Heredia, Costa Rica.2019.

La aplicación de los fungicidas se realizó una única vez previo a la apertura floral. Esto se realizó para evaluar el efecto de los fungicidas sobre el cuaje de frutos por planta en cada tratamiento, ya que existen enfermedades que se desarrollan en el fruto y generan aborto de los mismos. En cada tratamiento se marcó una bandola del estrato medio de diez plantas fijas de las hileras centrales, todas orientadas en la misma dirección. Se realizó una evaluación inicial de la condición fenológica de las plantas en cada sector antes de la colocación de los tratamientos y posterior a su aplicación se realizaron evaluaciones cada 21 días durante seis meses. Los datos suministrados por el ICAFE del efecto de la sombra sobre la fenología del café muestran que estos son constantes y con desviaciones mínimas.

Para evaluar el efecto sobre la fenología se midió la altura de las plantas y el largo de la bandola con una cinta métrica graduada en centímetros desde donde emerge el brote hasta el último nudo o último par de hojas verdaderas. Además, se contabilizaron la cantidad de nudos plagiotrópicos en cada bandola y ortotrópicos en el tallo. El largo de entrenudos en bandola seleccionada se midió con una regla

graduada en centímetros. Por último se contabilizó la cantidad de hojas que existe en cada bandola seleccionada.

Para evaluar el efecto de la sombra sobre el microclima se colocó el 6 de agosto del 2018 un sensor de humedad y temperatura en cada lote para medir la temperatura y la humedad relativa. Se evaluó la incidencia de la roya en las hojas de la bandola número quince utilizando una hoja de evaluación realizada en el CICAPE (Anexo 3). Por otra parte, se realizó la contabilización de la cantidad de frutos presentes por nudo en las bandolas seleccionadas en cada tratamiento después de la cuarta semana después de ocurrida la floración. También, se realizó una evaluación en el mes de junio y otra en agosto del año 2018 para determinar la cantidad de frutos cuajados.

La unidad experimental de las variables de respuesta fue constituida por diez plantas. Este trabajo no presentó ningún diseño, sin embargo, se realizó una evaluación de parcelas grandes donde cada tratamiento es el uso del sarán con diferentes niveles de sombrero.

El efecto de la sombra sobre el crecimiento vegetativo y la producción del café se comparó mediante la prueba de T-Student ( $p \leq 0,05$ ) únicamente entre los testigos que no reciben fungicida. Asimismo, se analizó el efecto de la interacción de la sombra y los fungicidas mediante el análisis de la prueba Tukey ( $p > 0,05$ ).

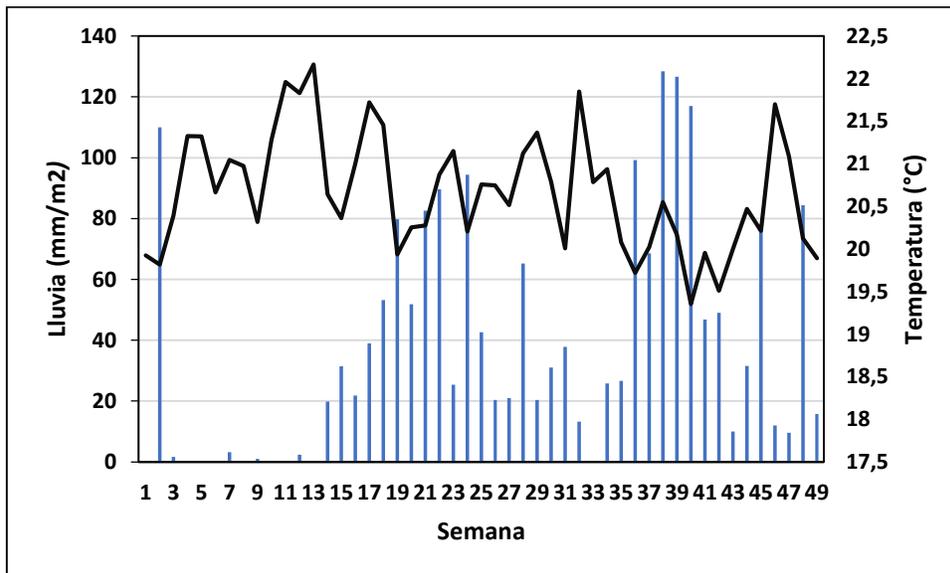
## **5. Resultados y discusión**

### **5.1 Efecto sobre el microclima**

Los cambios que ocurren en el microclima del cafetal varían dependiendo la cantidad de sombra que se utilice, entre ellos destacan la temperatura, humedad relativa, lluvia promedio y la radiación solar que entra al sistema.

#### **5.1.1 Lluvia**

Los resultados de lluvia (mm/m<sup>2</sup>) (figura 2 ) muestran que existe precipitación de la semana 1 a la 49 excepto de la semana 3 a la 13. Este factor climático puede afectar el desarrollo de enfermedades como la roya y el ojo de gallo (Hernández 2010). Asimismo, puede generar un aumento en la cantidad de maleza dentro de los cafetales ya que existe un aumento en la humedad del suelo lo que provoca la germinación y dispersión de estas (Cabón 2015). Respecto a la temperatura de la semana 1 a la 49 de la zona de Barva se observa que la temperatura máxima se obtuvo en las semanas 9 a la 13, y la temperatura mínima se obtuvo en las semanas 40 a 43.



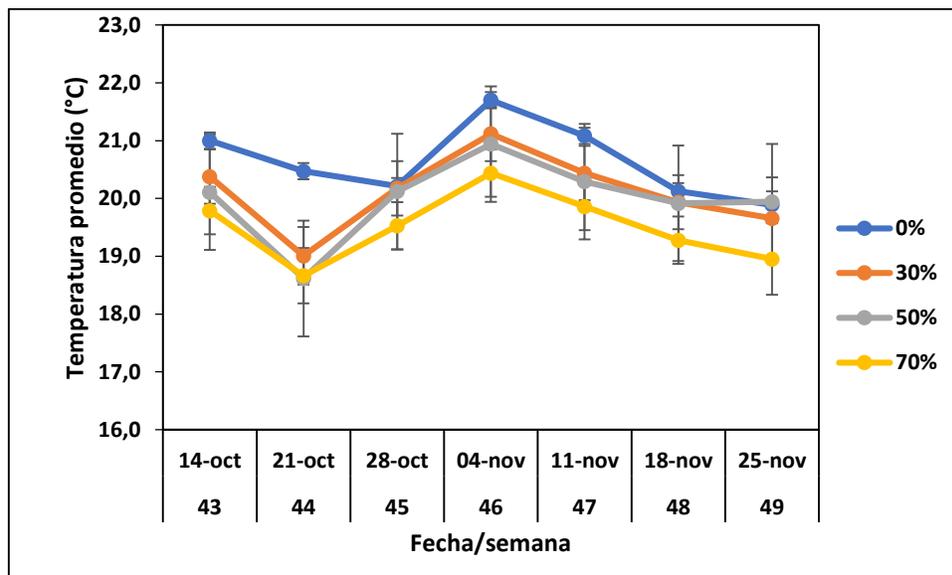
**Figura 2.** Lluvia (mm/m<sup>2</sup>) y temperatura (°C) de Barva de Heredia de la semana 1 a la 49 del año 2018

### 5.1.2 Temperatura promedio del aire

La figura 3 presenta el comportamiento de la temperatura del aire de la semana 43 a la 49. Se observa que existe una tendencia de una mayor temperatura promedio

(°C) en el tratamiento con 0% de sombra y una menor temperatura en el tratamiento de 70% de sombra, esto muestra que la sombra reduce la temperatura del ambiente.

Según los resultados obtenidos los tratamientos de 0% y 30% de sombra sobrepasan la temperatura óptima para el desarrollo de este cultivo lo cual puede afectar el desarrollo de la plantación (Montoya y Robledo 2016). La temperatura óptima para el desarrollo del café está entre los 18°C a los 21°C, por esto, cultivos que estén por debajo de los 18 °C necesitan mayor tiempo cronológico para alcanzar la producción potencial y a temperaturas mayores de los 21°C se afecta el llenado de frutos (Farfán y Jaramillo 2010).



**Figura 3.** Temperatura del aire promedio (°C) en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrero, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica. 2018.

### 5.1.3 Radiación solar

Respecto a la radiación solar ( $W/m^2$ ) (figura 3) se observa una relación inversamente proporcional respecto al porcentaje de sombra, es decir a mayor

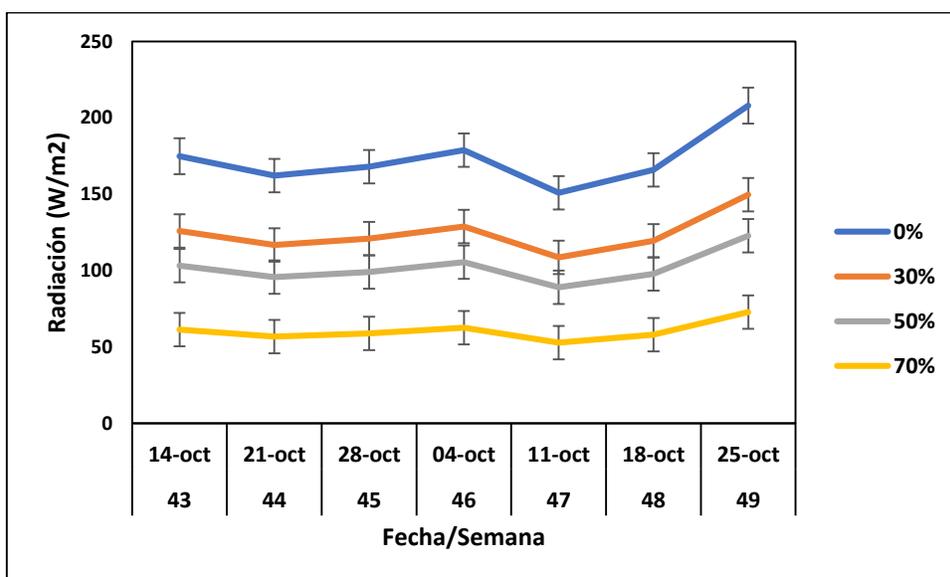
porcentaje de sombra menor radiación. La calidad y la cantidad de radiación solar afecta el crecimiento y el desarrollo de las plantas, el funcionamiento de los estomas y las respuestas fisiológicas. En el caso del café, la disponibilidad de radiación afecta de forma muy significativa la producción, especialmente si el sistema de producción se hace bajo sombra (Farfán y Jaramillo, 2010).

Estudios realizados por Zapata et al. (2017) muestran que existen diferencias significativas en la radiación fotosintéticamente activa incidente (RAFAi) en diferentes niveles de sombrero. La mayor RAFAi se alcanzó en los cafetales con baja sombra, además, se observan reducciones en la radiación de 30% y 72% en cafetales bajo sombra, frente a aquellos a plena exposición solar. Estos resultados muestran que el sombrero limita la cantidad de RAFAi para el cultivo de interés y esta restricción está relacionada con la densidad, edad y características estructurales de las especies arbóreas que se utilicen para dar sombra.

La radiación tiene un efecto significativo sobre el crecimiento de las plantas de café ya que actúa como fuente de energía para la síntesis de carbohidratos a partir de  $\text{CO}_2$  y agua. La captación de los fotones funciona a través de las partes verdes que contienen clorofila en la planta, principalmente la hoja, que son una trampa altamente eficiente para los fotones. Un porcentaje de sombra muy alto no permite que la planta produzca la máxima fotosíntesis, excepto a irradiancias muy altas (Fisher y Pérez, 2015).

Según Montagini et al. (2014), la fotosíntesis del cafeto no se reduce en condiciones de sombra inferiores a 55% ya que el aparato fotosintético del cafeto está adaptado a condiciones sombreadas, las plantas que reciben sol directo muestran una tasa de fotosíntesis menor que las plantas ubicadas en la sombra. Esto porque, las hojas de café están sujetas a foto-inhibición y a fotorespiración en condiciones de alta radiación, que no permiten fotosíntesis e incluso pueden provocar daños permanentes en el aparato fotosintético. La principal limitación a la fotosíntesis parece estar relacionada con una baja conductancia estomática de las hojas (Montagini et al. 2014).

Además, la intensidad lumínica afecta al cultivo debido a su duración e intensidad, lo cual tiene influencia sobre los procesos de fotosíntesis, transpiración, crecimiento y producción de la planta. Debido a que este factor ha incrementado con los años, por esta razón es recomendable el manejo de plantaciones con el uso de sombrío regulado (Alfaro 2015).

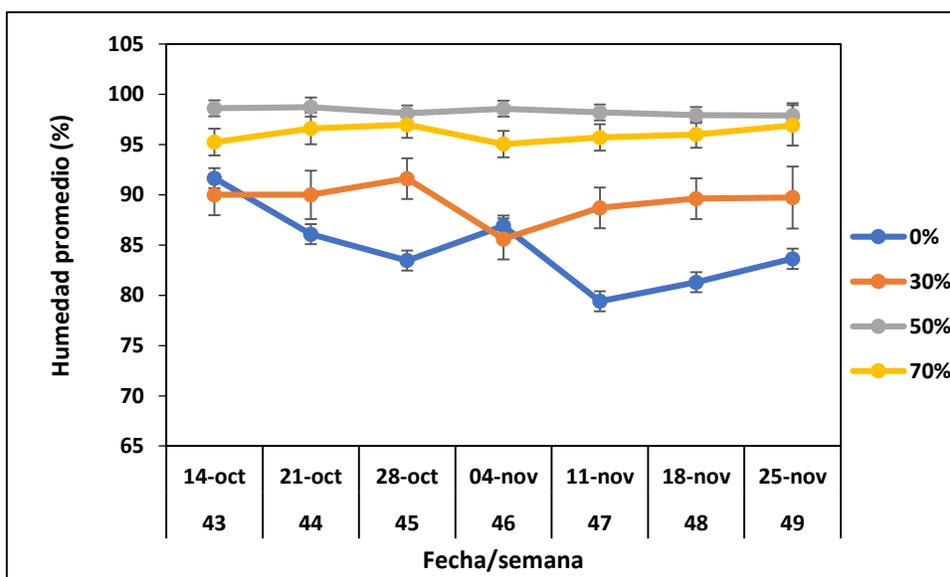


**Figura 4.** Radiación (W/m<sup>2</sup>) en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrío, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica. 2018.

#### 5.1.4 Humedad relativa promedio

Por otra parte, en la figura 5 se observa que la humedad relativa promedio aumenta conforme aumenta el porcentaje de sombra de los bloques. Este comportamiento se puede deber a que al existir sombra la cantidad de radiación que llega a los estratos bajos del cafetal es menor y su calidad es alterada (Farfán y Jaramillo 2010). Esta reducción de la radiación limita la capacidad de evaporación, lo que

provoca un incremento de la humedad relativa. Según Mora (2008), la humedad del aire no es un factor determinante en el cultivo del café. No obstante, se señala que un promedio de humedad relativa, de 70 a 95 %, es recomendable para *Coffea arabica*. Sin embargo, cuando se alcanzan niveles superiores al 85%, se propicia el ataque de enfermedades fungosas que se ven notablemente favorecidas (ICAFE, 2011).



**Figura 5.** Humedad promedio (%) en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrero, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica. 2018.

## 5.2 Efecto sobre la fenología del café

Se han realizado estudios donde demuestran que el uso de sombra disminuye la radiación solar en el microclima de los cafetales. Esta disminución en la radiación provoca efectos en la fenología del café entre ellos el largo de los entrenudos, tallos más delgados, hojas anchas y finas y escaso desarrollo del sistema radical (Coletto, 1995). En casos de extrema reducción de la intensidad lumínica u

oscuridad, las plantas reaccionan con una etiolación y un crecimiento muy alargado. Además ocurre la disminución de ciertas enzimas y una alteración en la estructura de los cloroplastos (Rajendran et al. 2009).

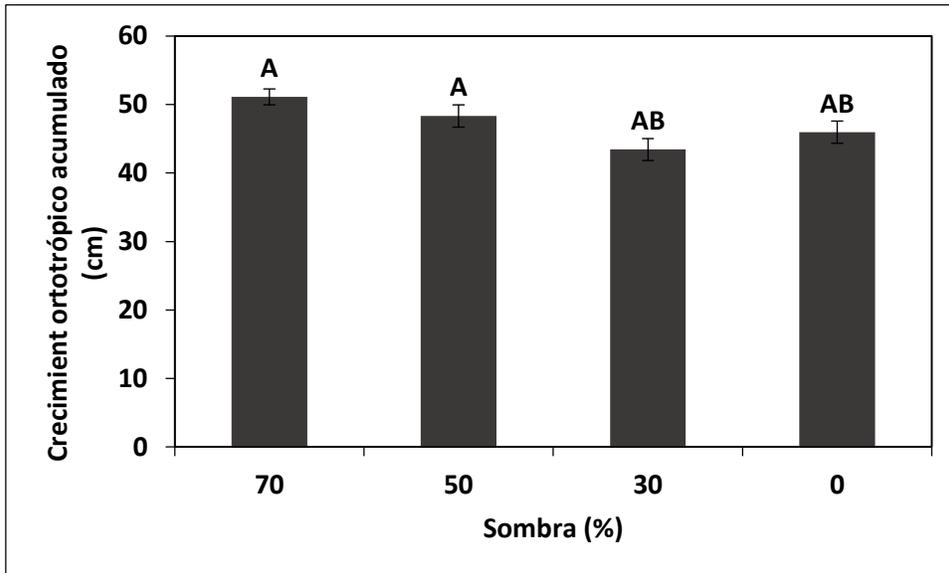
### **5.2.1 Altura**

En la figura 6 y 7 se muestra la dinámica de crecimiento de las plantas de café a lo largo del ensayo, se observa que durante el periodo de evaluación existe un menor crecimiento en los tratamientos de menor sombra. El testigo (0% sombra) presenta una tendencia de mayor crecimiento hasta la semana 26, sin embargo, después de esta semana su crecimiento ortotrópico se reduce y es superado por los tratamientos 70% y 50%. En el caso del tratamiento del 70% tiene un comportamiento opuesto al testigo ya que presenta una tendencia de un menor crecimiento ortotrópico en las primeras semanas, sin embargo, a partir de la semana 26 su crecimiento aumenta superando a los demás tratamientos.

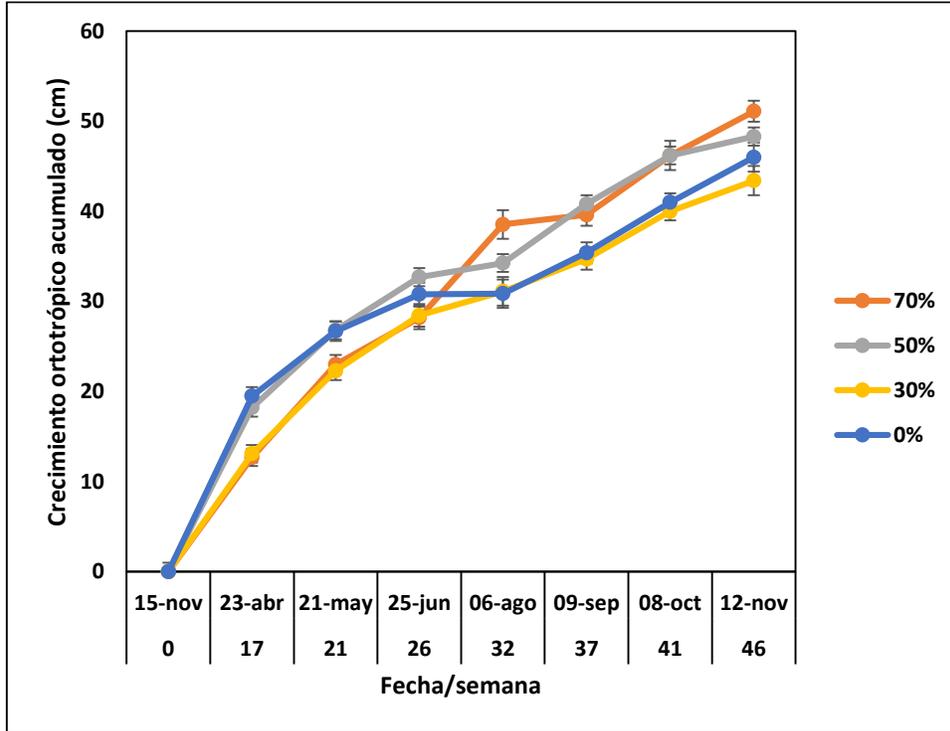
Este comportamiento se puede deber a la disminución de la temperatura en la zona de Barva de Heredia en estas semanas (figura 2), lo que pudo provocar una mayor etiolación de las plantas por una disminución de temperatura y luminosidad. Según Rodríguez (2003), la etiolación se refiere al crecimiento de las plantas en la ausencia de luz. También se refiere al crecimiento que sufren las plantas cuando están en presencia de sombra intensa observándose crecimientos desproporcionados del tallo principal en busca de luz; en dicho crecimiento los tallos se hacen más delgados.

Además, altas temperaturas causan reversión de las tasas relativas de diversas reacciones químicas como la desnaturalización de proteínas, hiperfluidez de lípidos y descomposición química de algunas sustancias como lípidos. Estos procesos se combinan de diversas maneras para producir diferentes tipos de daños por calor. En el caso del daño causado a la planta por el exceso de temperatura puede ocurrir porque la fotosíntesis del café es muy sensible a temperaturas altas. Cuando el cultivo de café está a plena exposición solar se produce un exceso de luz que

interfiere en la función de la clorofila del cafeto lo cual perjudica el metabolismo de la planta (Montagnini et al. 2014).



**Figura 6.** Crecimiento acumulado de las plantas en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrío, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica..



**Figura 7.** Tendencia del crecimiento ortotrópico en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrero, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAPE, Barva de Heredia Costa Rica.

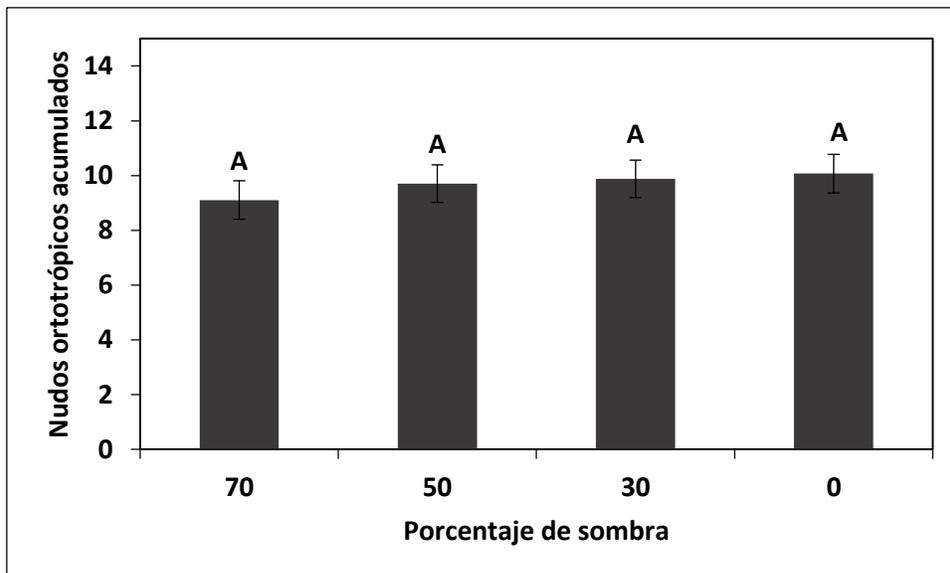
### 5.2.2 Nudos ortotrópicos

En la figura 8 y 9 se observa que existe una tendencia de una mayor cantidad de nudos ortotrópicos en plantas establecidas con porcentajes de sombra menores. El testigo (sombra 0%) presenta una tendencia de una mayor cantidad de nudos ortotrópicos. También, se observa que de la semana 26 a la 32 no existe un aumento en la cantidad de nudos ortotrópicos en lo que respecta al testigo, sin embargo, en el tratamiento de 70% se observa un mayor aumento en estas semanas lo cual se puede deber a condiciones climatológicas que se presentaron en estas fechas.

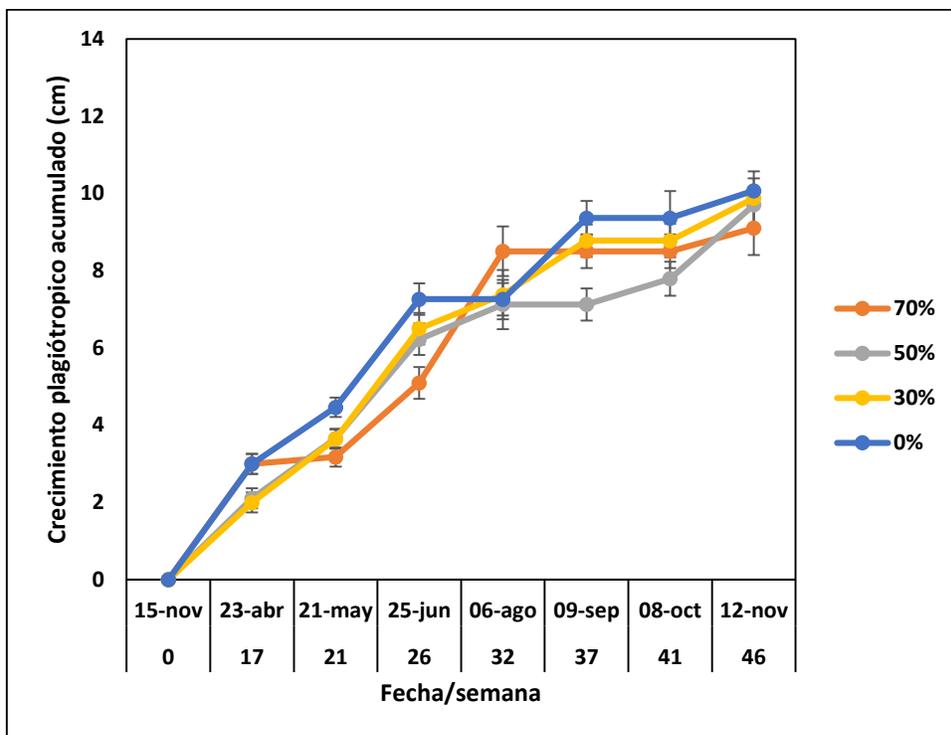
Sin embargo, existe una tendencia de que la cantidad de nudos ortotrópicos acumulados es mayor en plantas con menor porcentaje de sombra. Estos resultados coinciden con lo expuesto por Arcila et al. (2007) quienes señalaron que la arquitectura de la planta de café varía según la cantidad de sombra utilizada, las

plantas cultivadas a pleno sol presentan una menor altura pero tienen un mayor número de nudos ortotrópicos. Esto indica que existe una etiolación de las plantas bajo porcentajes de sombra altos (Hernández, 2010).

Arcila et al. (2007) también mencionan que los entrenudos en plantas bajo condiciones de exposición solar son más cortos, además, las hojas son más pequeñas y mayor cantidad de estomas por hoja.



**Figura 8.** Cantidad de nudos ortotrópicos en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrío, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva, Costa Rica.

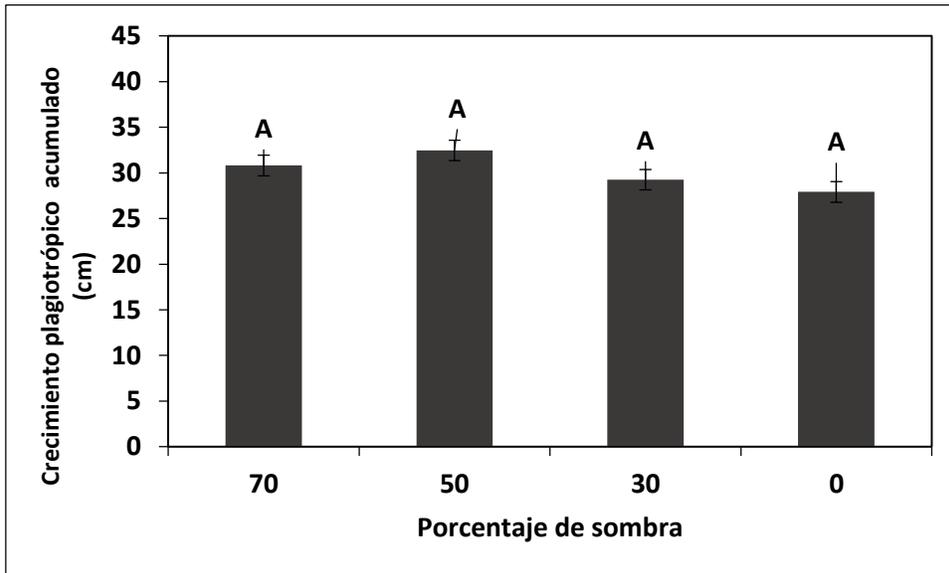


**Figura 9.** Tendencia de la cantidad de nudos ortotrópicos en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrío, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica.

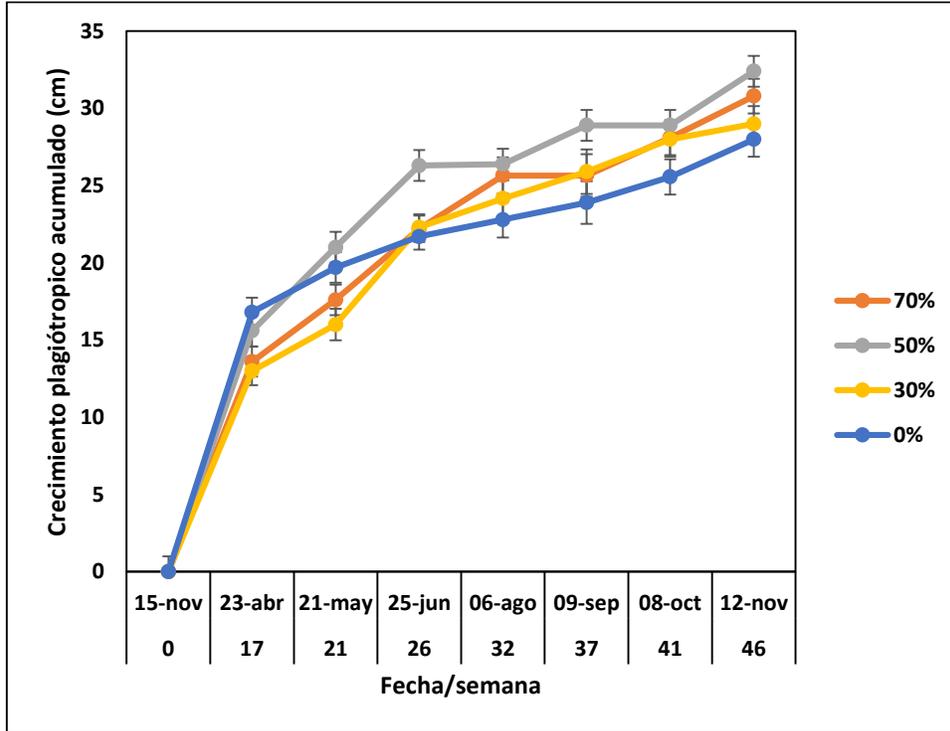
### 5.2.3 Largo de bandola

Respecto al crecimiento plagiotrópico (figura 10 y 11) se observa un comportamiento similar al crecimiento ortotrópico, ya que existe la tendencia de que al disminuir el porcentaje de sombra se disminuye el crecimiento plagiotrópico. Se observa que el mayor crecimiento plagiotrópico lo presentan las plantas del bloque de 50% de sombra seguido de la sombra de 70%. El menor crecimiento lo presenta el testigo.

Arcila et al. (2007) mencionan que las plantas expuestas a la luz solar presentan un mayor número de ramas de crecimiento plagiotrópico comparado con las plantas cultivadas bajo sombra y mayor diferenciación de yemas florales.



**Figura 10.** Crecimiento plagiotrópico en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrío, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica.

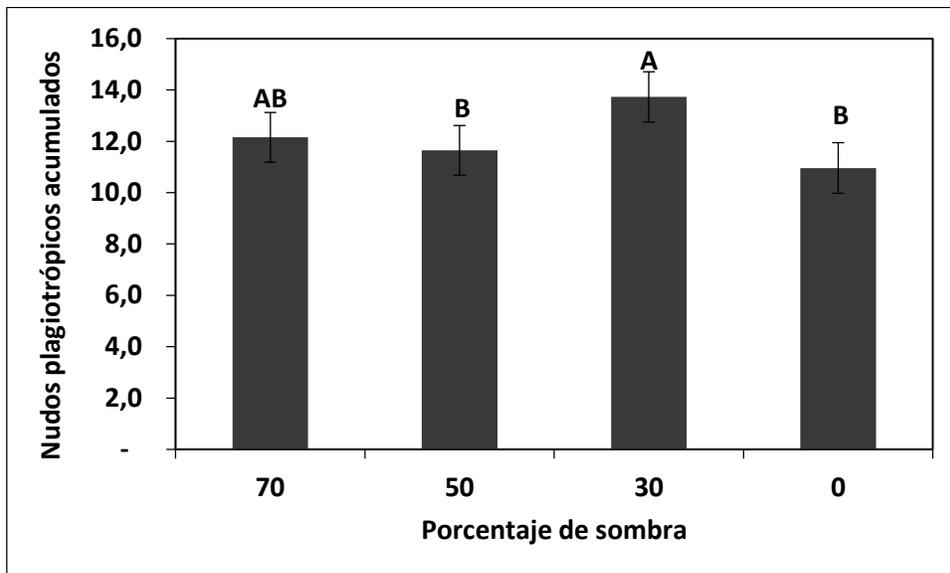


**Figura 11.** Tendencia del crecimiento plagiotrópico en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrío, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAPE, Barva de Heredia Costa Rica.

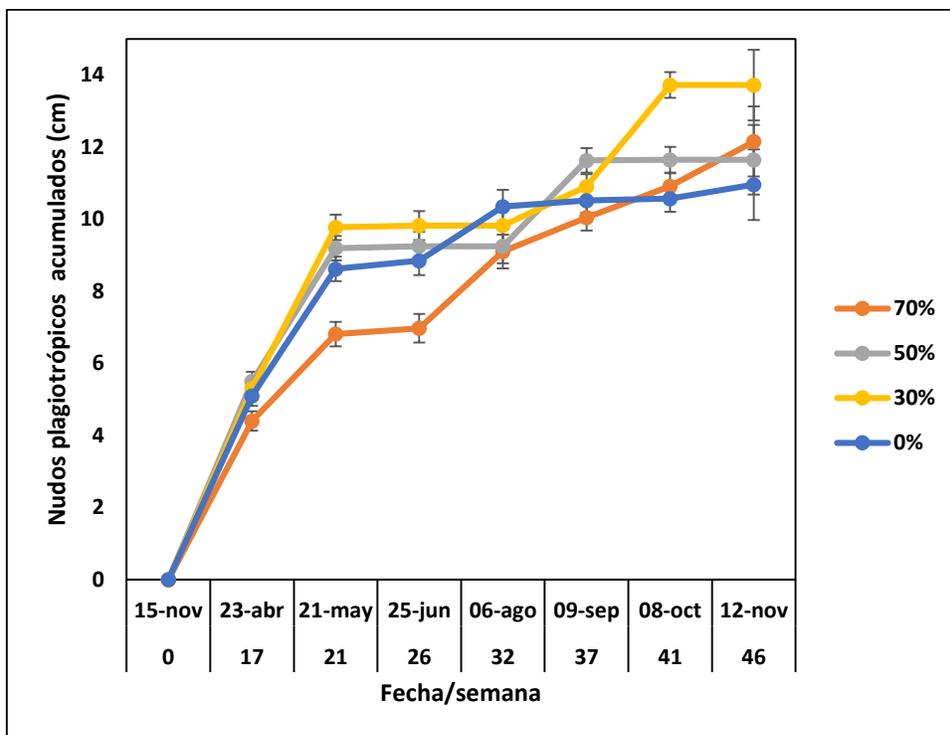
#### 5.2.4 Nudos plagiotrópicos

En la figura 12 y 13 se observa el comportamiento de la de la cantidad de nudos plagiotrópicos de las plantas en los diferentes bloques. Se observa un comportamiento similar al crecimiento ortotrópico, es decir a mayor porcentaje de sombra menor cantidad de nudos en la bandola. Esto indica que al utilizar sombras altas el largo de los entrenudos de la bandola es mayor. El mayor número de nudos lo obtienen las plantas cultivadas a un porcentaje de sombra del 30%. Se observa un aumento general en la cantidad de nudos de todas las plantas a partir de la semana 32, esto se puede deber a que exista un aumento en la temperatura del ambiente.

El número de entrenudos tiene una importancia relevante en la producción debido a que en ellos es donde se originan los brotes florales. Esto indica que un mayor número de estos podría presentar una mayor cantidad de frutos al final de la cosecha siempre teniendo en cuenta un adecuado manejo (ICAFE 2011).



**Figura 12.** Cantidad de nudos plagiotrópicos en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrío, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica.



**Figura 13.** Tendencia de la cantidad de nudos plagiotrópicos en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrío, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica.

### 5.2.5 Número de hojas

En cuanto al número de hojas (figura 14), no se observó un comportamiento definido entre tratamientos; sin embargo, los menores valores se presentaron en porcentajes de sombra de 70% y 0 % de sombra. El tratamiento de 30 % mantuvo una cantidad de hojas más estable. La figura muestra que existe una disminución de la cantidad de hojas en la semana 46, esto se puede deber a que en ese momento la planta alcanzó el tiempo de cosecha, y la manipulación de las plantas ocurrida en la cosecha genera la pérdida de hojas, y esta no se debe a la influencia de los tratamientos.

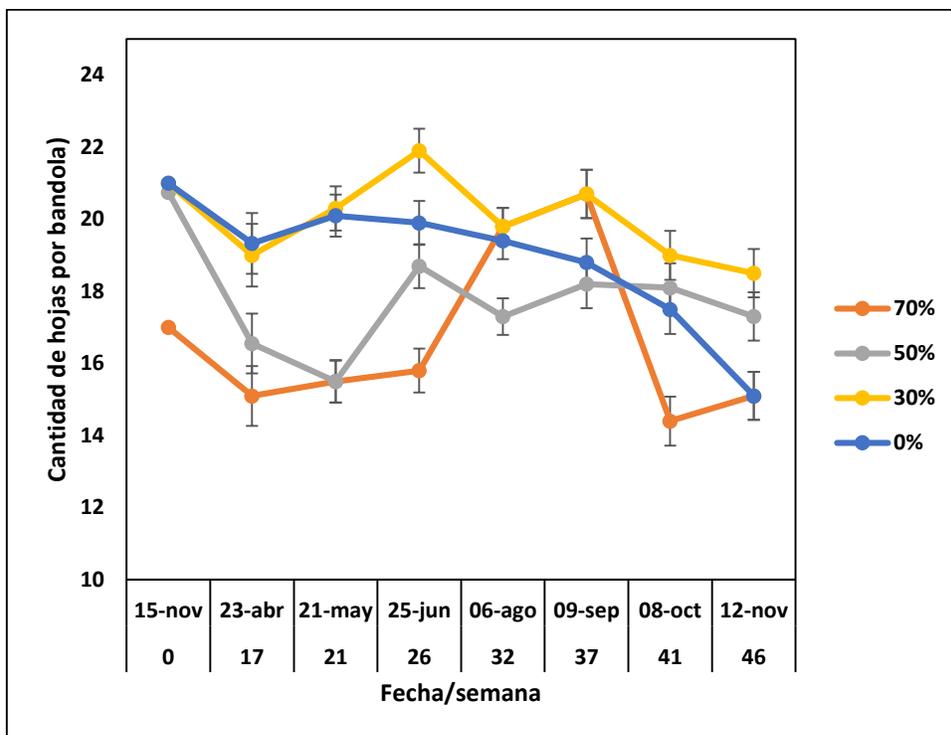
El comportamiento que presentó la cantidad de hojas en este ensayo no coincide con lo mencionado por Rajendran et al. (2009) el cual indica que los tratamientos

de 50% y 75% de sombra obtienen un crecimiento lento y la emisión de las hojas es más lenta en los tratamientos sombreados, lo cual reduce la superficie asimiladora y por ende afectaría al crecimiento.

El número de hojas en cada cafeto varía según la edad de la planta, según la densidad de siembra y depende de que el cultivo esté a plena exposición solar o bajo sombra. La duración de las hojas depende de la dinámica del desarrollo foliar del cafeto, esta se reduce con la sequía, con las altas temperaturas y depende de la cantidad de carbohidratos en la planta (CENICAE, sf).

También, la luz afecta la longitud de las hojas, se presenta una disminución a medida que la intensidad aumenta. Asimismo, el número de hojas y el número de nudos del tallo principal presentan un comportamiento opuesto al de la longitud de la hoja. Existe un aumento numérico de nudos al aumentar la luz, sobre el tamaño de entrenudos y sobre la producción de la cereza (Arcila et al. 2007).

A temperatura más altas de 20°C aumenta la fotorrespiración y la concentración interna de CO<sub>2</sub>. También influye en la disminución del potencial hídrico de la hoja lo cual afecta también el cierre de los estomas, la actividad de la carboxilasa, una disminución de la ribulosa fosfato y de la conductividad del mesófilo. La sombra, permite reducir los extremos de temperatura en el dosel del café, puede influir más sobre la fotosíntesis en ambientes cálidos que en ambientes frescos (Montagnini et al. 2014).

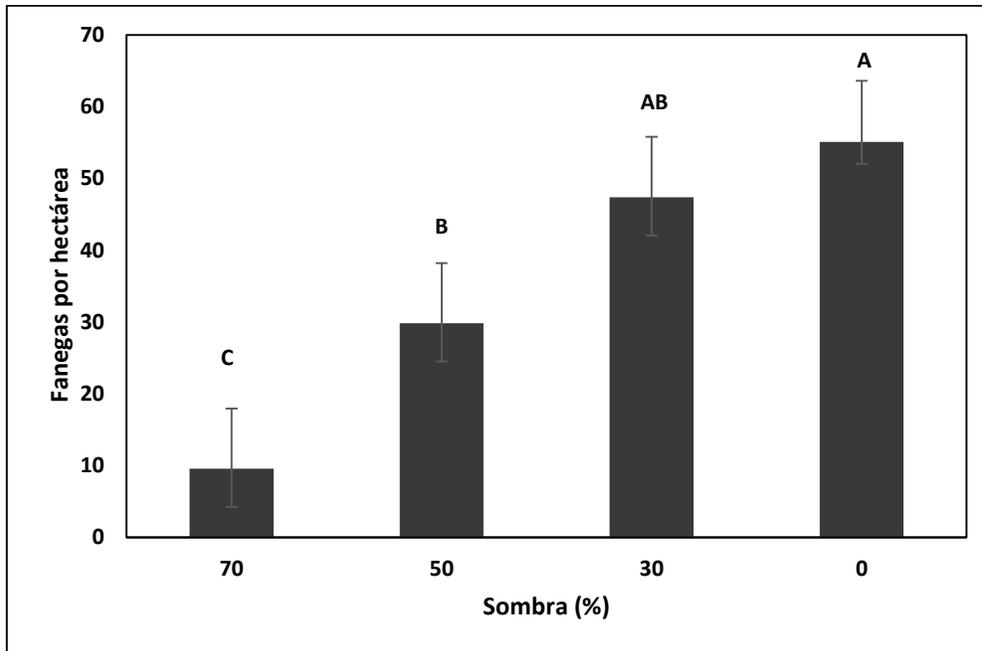


**Figura 14.** Cantidad de hojas de las plantas en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrío, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica.

## 5.2.6 Producción

### 5.2.6.1 Efecto de la sombra sobre la producción

En cuanto al rendimiento (figura 15) se observa que a menor porcentaje de sombra existe una mayor producción. Según Villareyna (2016) existe un desarrollo más lento de los frutos bajo sombra, con una maduración más tardía y más pareja. También, existe un efecto de la sombra sobre la reducción de la carga fructífera, la producción potencial de frutos del café puede disminuir a partir del 40% de sombra. Lo anterior coincide con los resultados obtenidos en este estudio donde se observa una reducción del rendimiento con respecto al aumento de sombra (figura 15).



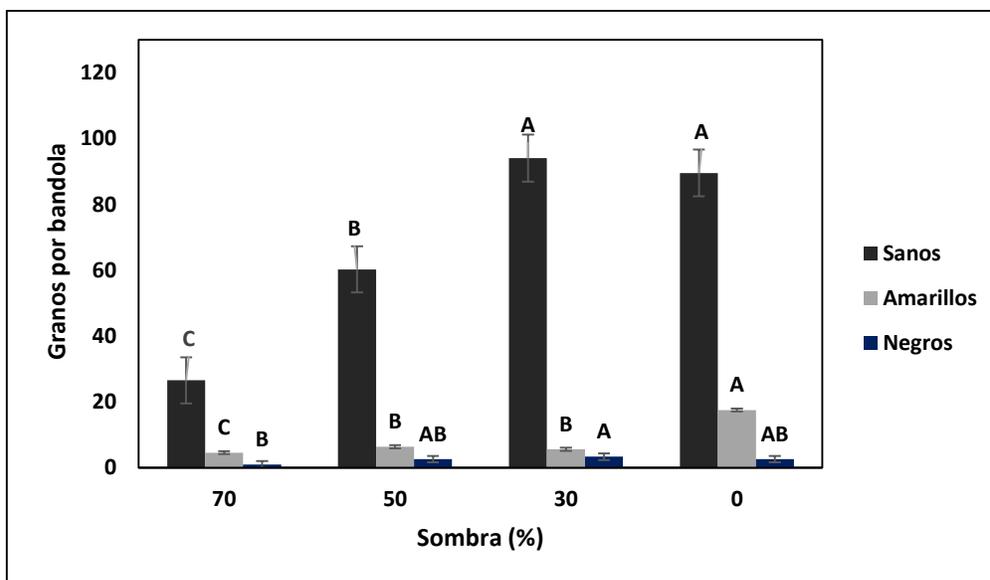
**Figura 15.** Fanegas por hectárea en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrío, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018 CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica.

En la figura 16 se observa que existe mayor cantidad de granos amarillos y negros conforme se disminuye la sombra, esto se puede deber a que existe una caída (purga) de los granos de café por la disminución de la luz y la alta humedad relativa en niveles de sombra altos.. Estas condiciones micro climáticas favorecen el desarrollo de enfermedades fungosas que atacan la flor y el grano de café como *Colletotrichum* sp (Hernández, 2010).

Los resultados obtenidos no concuerdan con lo mencionado anteriormente ya que se observa que existe una mayor cantidad de granos amarillos y negros a menores porcentajes de sombra. Esto se puede deber a que en los bloques de menor sombra existe una mayor temperatura (figura 3), lo cual puede favorecer el desarrollo de los hongos que afectan la flor y esto genera pérdida de frutos. Según el desarrollo de *Colletotrichum kahawae* se ve favorecido por temperatura y humedad altas, requiere de temperaturas entre los 25 y 30°C para completar sin limitaciones su proceso de infección. Efectos climáticos caracterizados por lluvias abundantes seguidas por

temperaturas altas genera un mayor secamiento o necrosis de flores y frutos de café generados por este hongo (Gil et al. 2002).

En presencia de agua las conidias producen un tubo germinativo sobre la superficie del hospedante; a partir del cual penetran directamente la cutícula por acción de enzimas y/o fuerza mecánica. Dentro del tejido se forma inicialmente una vesícula primaria a partir de la cual se desarrollan hifas que colonizan el tejido, entre y dentro de las células, sin ocasionar síntomas externos visibles; finalmente, el tejido muere y sobre él se inicia la producción de conidias esta fase necrotrófica el hongo provoca una intensa degradación de las paredes celulares del hospedante. El patógeno germina sobre los frutos de café y forma un apresorio entre 4 y 6 horas después de la inoculación; penetra la epidermis entre las 8 y 16 horas siguientes y continúa con la colonización de los tejidos, la cual conduce a la degradación de las paredes de las células subepidermales (Gil et al. 2002).



**Figura 16.** Cantidad de granos sanos, amarillos y negros de las plantas en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrío, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica.

Sin embargo, en los bloques con menor sombra se observa una mayor cantidad de frutos iniciales y finales (figura 17). Esto se puede deber a que la productividad depende de la fotosíntesis, por esto, la planta requiere un mayor suministro de agua, luz, temperatura y sales minerales, lo cual está más disponible en el bloque sin sombra. Además, depende de un adecuado funcionamiento del resto de los procesos fisiológicos de la planta tales como la respiración, transpiración, síntesis de proteínas, absorción y traslado de agua y sales minerales entre otras (López, 2012).

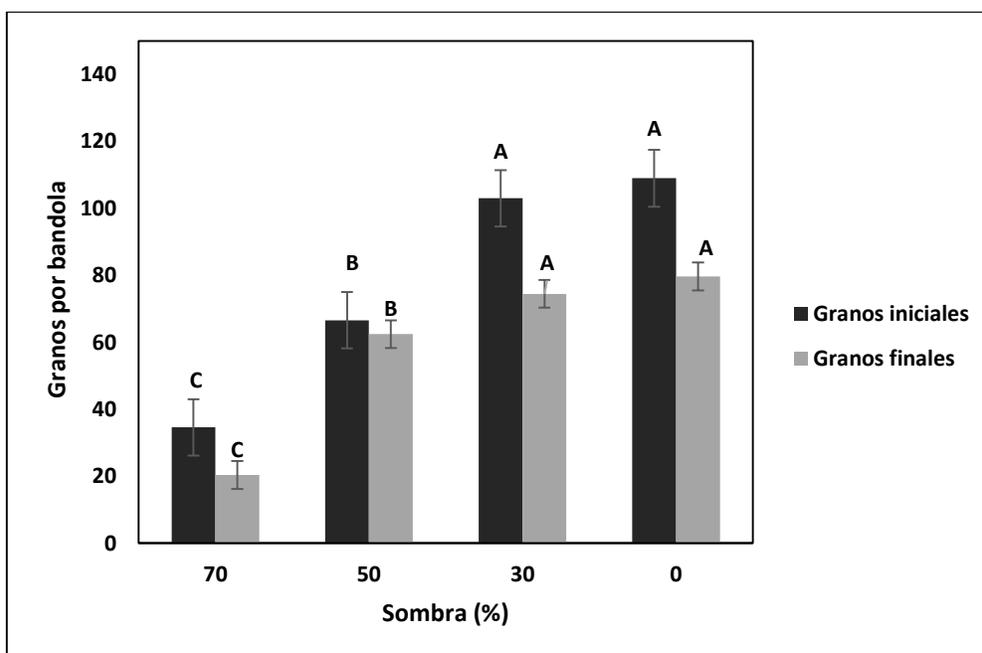
El utilizar altos porcentajes de sombra puede ocasionar frutos más pequeños, por causa de una deficiencia en fotosíntesis de las hojas cercanas a éstos, también, presentan una coloración deficiente ya que existe un estrés en la planta por una radiación deficiente lo que origina una acumulación insuficiente de carbohidratos esenciales para la respiración y el mantenimiento de la calidad del producto cosechable (Fisher y Pérez 2015).

Una revisión bibliográfica realizada por Fournier (1987) sobre la productividad del café al sol y a la sombra muestra que existe un aumento de la producción del 10% al 20% cuando el cultivo se hace al pleno sol, comparado con uno cultivado con sombra moderada. Este autor menciona que en Costa Rica generalmente existen deficiencias minerales y la sombra equilibra esta desproporción, ya que al disminuir la luz se disminuye la actividad de la planta y se logra un equilibrio adecuado entre el crecimiento del café y su producción, pero a costa de la disminución de esta última.

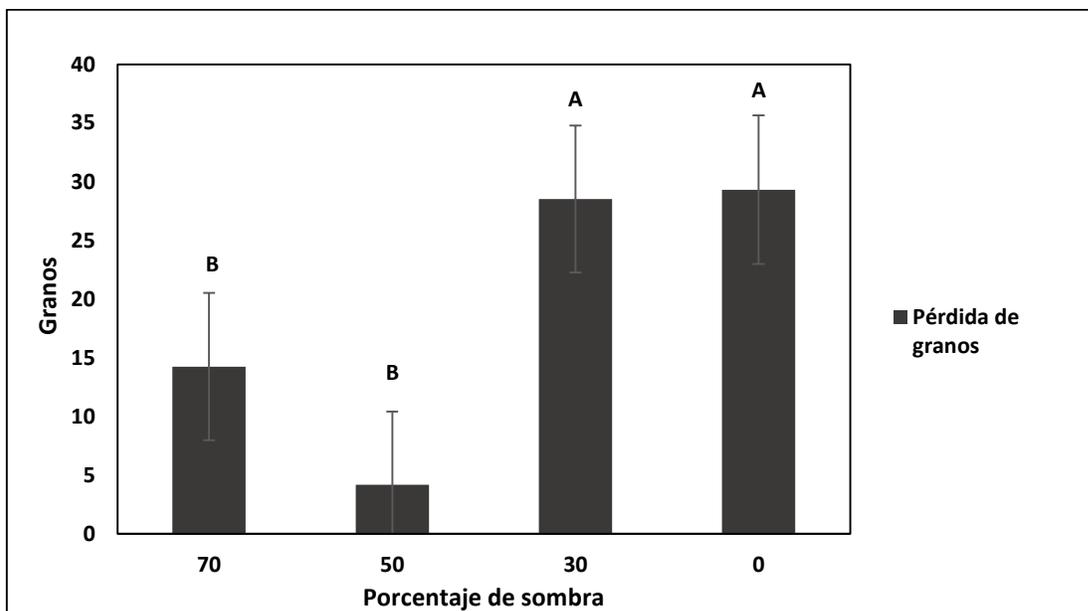
Lo anterior no concuerda con lo observado en los resultados del análisis de suelo realizado en las diferentes parcelas (Anexo 1) ya que a menor porcentaje de sombra aumenta la cantidad de nutrientes presentes en el suelo. Sin embargo, es recomendable realizar análisis de suelo a lo largo del tiempo para comparar la presencia de nutrientes en el suelo. Además, es importante realizar una adecuada fertilización en el café cultivado al sol, esto porque este demanda más nutrición y si esta no se realiza es probable que se generen desequilibrios de los elementos en el suelo.

Samayoa y Sánchez (2001) mencionan que en una plantación de café cultivada con exceso de sombra se afecta drásticamente la morfología de la planta así como la producción. Sin embargo, plantas cultivadas a plena exposición solar tienden a producir frutos más pequeños comparados con los de sombra. Así la elevada extracción de nutrimentos por las altas producciones, ocasiona que los cafetales cultivados a pleno sol tiendan a debilitarse más rápido.

Lo anterior causa un estrés ambiental y nutricional que conduce al agotamiento del cultivo haciéndolo más susceptible al ataque de ciertas enfermedades como chasparria (*Cercospora coffeicola*) y la antracnosis (*Colletotrichum* spp.) Estas enfermedades pueden provocar una mayor pérdida de frutos (Samayoa y Sánchez, 2001). Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos (figura 18), donde se observa que la mayor cantidad de frutos se da en los bloques donde la sombra es menor.



**Figura 17.** Cantidad de granos iniciales y finales de las plantas en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrero, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica.



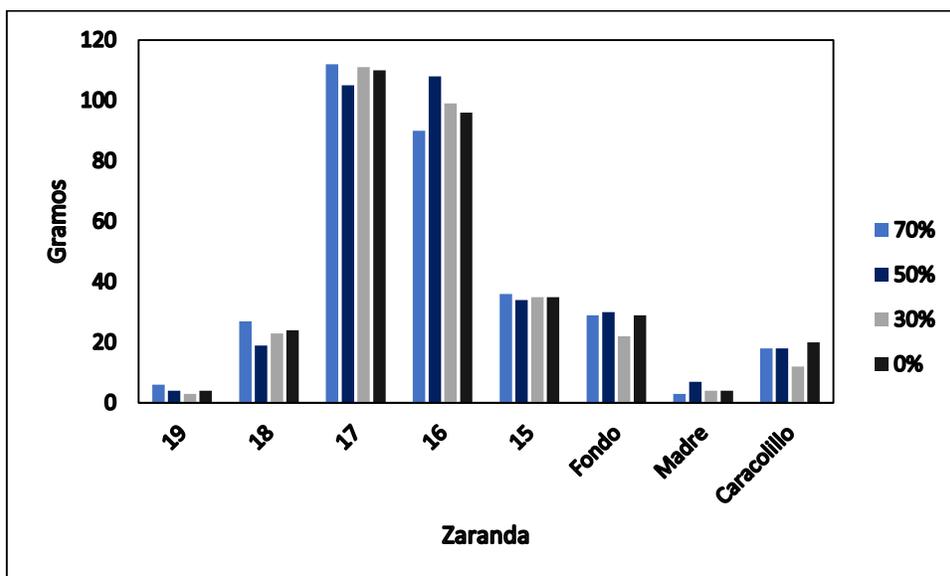
**Figura 18.** Pérdida de granos de las plantas en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrío, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAPE, Barva de Heredia Costa Rica.

En la figura 19 se observa el tipo de semilla presente en los granos de cada bloque de sombra, los resultados muestran que existe una semilla de mayor calidad (tamaño 19, 18 y 17) en las plantas cultivadas bajo sombra de 70%. Respecto al caracolillo que representa el tamaño más pequeño, los mayores valores lo obtienen las plantas cultivadas a menor sombra.

Esto concuerda con lo mencionado por Samoyoa y Sánchez (2001) quienes mencionan que existe un mayor tamaño de los frutos en plantaciones bajo sombra con respecto a plantaciones a pleno sol lo cual puede deberse a un efecto térmico. Lo anterior se debe a que los frutos son fuertes extractores de carbohidratos durante su crecimiento y las hojas disminuyen la producción de carbohidratos a temperaturas foliares superiores a 25 °C. Esto se manifiesta como un menor tamaño de los frutos, en cafetales con poca sombra.

Se requieren de 1,6 hojas con un área foliar de 25 cm<sup>2</sup> para producir un grano de café pergamino seco de 0,22 g. En años de alta producción, la relación entre el área foliar y el número de frutos se reduce, a tal grado que la cantidad de follaje de la

planta no es capaz de atender adecuadamente la demanda de los frutos, lo cual también se traduce en un menor tamaño del mismo (Samoyoa y Sánchez, 2001).



**Figura 19.** Tipo de semilla presente en los granos en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrío, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica.

### 5.2.6.1 Efecto de la utilización de diferentes estrobirulinas sobre la producción del café, plantado a diferentes niveles de sombra.

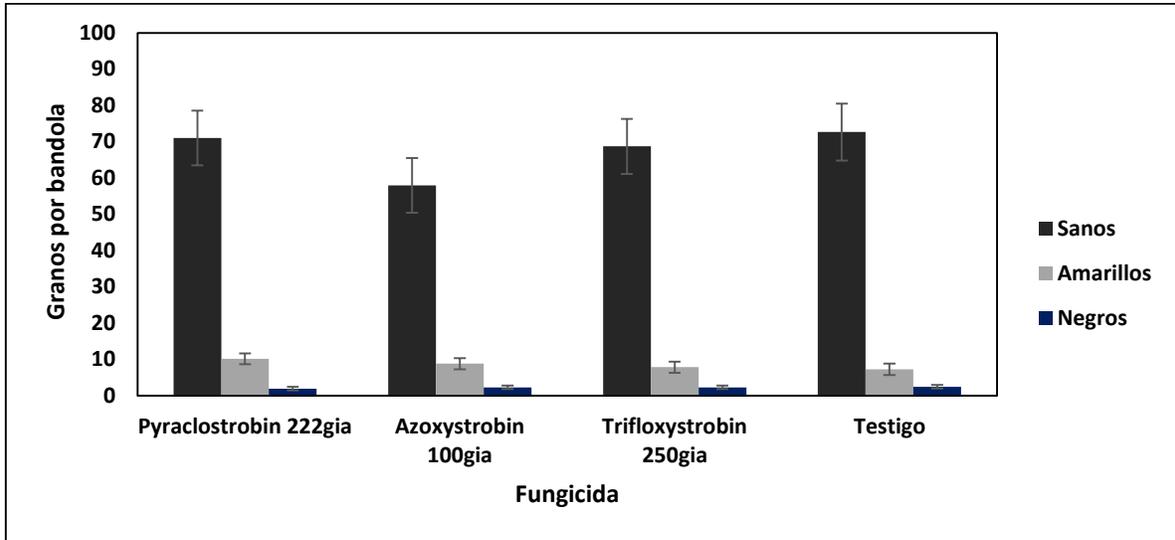
Al comparar la producción obtenida al utilizar diferentes tipos de estrobirulinas (figura 20 y 21) no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo. Sin embargo, al comparar la pérdida de frutos por planta se observa que la mayor pérdida de frutos se da en el testigo donde no se aplicó ningún tipo de estrobirulinas y la menor pérdida de granos se obtuvo al aplicar Azoxystrobin 200g/ha.

Según Chavés (2013), las estrobirulinas son fungicidas con actividad protectante y curativa que inhiben la respiración mitocondrial por bloque de la transferencia de electrones entre el citocromo b y el citocromo c1. Todo esto se traduce en la reducción de la producción de ATP. Además, el bloqueo de la respiración genera electrones en estado de alta energía que provocan una rápida aparición de especies

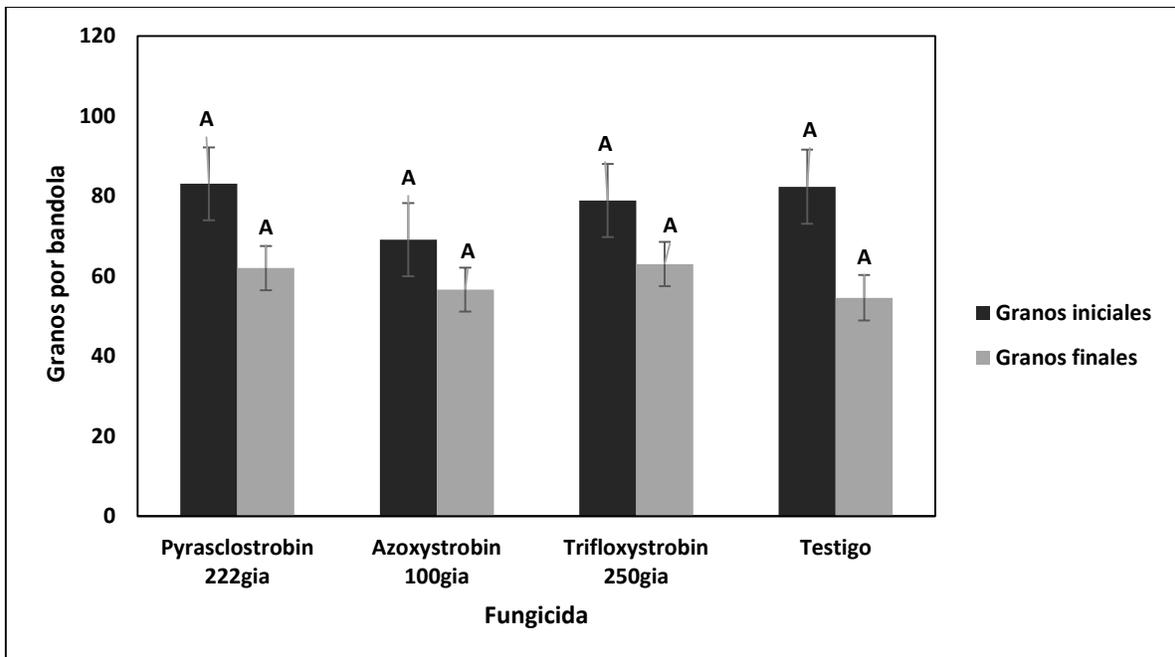
reactivas de oxígeno como el peróxido de hidrógeno, que hacen que las estrobilurinas tengan actividad fungicida. Además, estos fungicidas tienen un alto potencial de promover alteraciones fisiológicas en varios cultivos que influyen de forma positiva el rendimiento de granos y frutos.

Según Echeverría (2012), todas las estrobilurinas tienen algún potencial de movimiento hacia el interior de las plantas y son localmente sistémicas y traslaminares, sin embargo, se han observado comportamientos diferenciales entre ellas. Pyraclostrobin es localmente sistémica, es tomada por la planta pero no se desplaza a través de ella más allá del punto en el que toca. Sin embargo, Azoxystrobin es tomado por la planta y dispersado a una distancia definida más allá del punto de toma, es decir tiene una mayor distribución en el interior del tejido lo que determina un mejor efecto sobre los patógenos.

Por otra parte, Ayala y colaboradores (2013) realizaron estudios en el cultivo de fresa, la utilización de estrobilurinas además del efecto fungicida promueve alteraciones fisiológicas en varios cultivos que influyen positivamente sobre el rendimiento de granos y frutos. Este efecto es llamado comercialmente AgCelence y se asocia con la hipótesis de que las estrobilurinas proporcionan otros beneficios, además de la protección de los cultivos. Lo anterior se debe a que las estrobilurinas tienen efectos fisiológicos adicionales que aumentan la salud y vitalidad de la planta. Estas moléculas mejoran la capacidad fotosintética de la planta, promueven una mayor producción de clorofila, lo que les permite asimilar el dióxido de carbono y lo convierte en carbohidratos. Además, estas moléculas promueven una menor pérdida de carbono a través de la respiración. Estos dos efectos combinados aumentan la fotosíntesis, sustancialmente llevando a una mayor productividad y rendimiento a la planta. Además, las estrobilurinas activan la nitrato reductasa lo cual mejora la asimilación de carbono y nitrógeno, que puede aumentar la producción o la calidad de las plantas (BASF, sf).

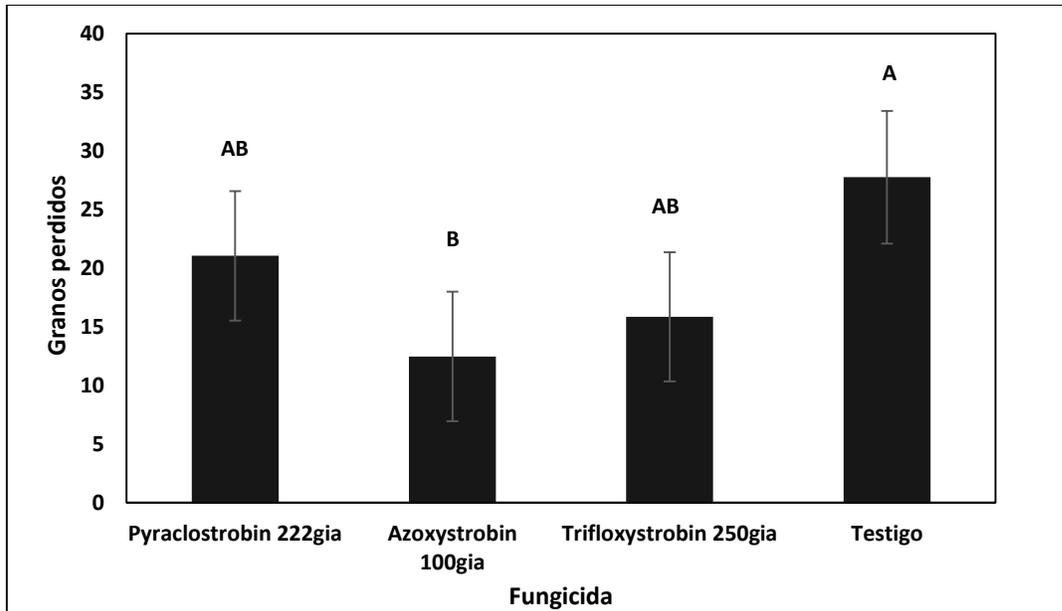


**Figura 20.** Cantidad de granos sanos, amarillos y negros de las plantas con la aplicación de diferentes fungicidas en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrío, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAFFE, Barva de Heredia Costa Rica.



**Figura 21.** Cantidad de granos iniciales y finales de las plantas con la aplicación de diferentes fungicidas en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrío,

del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAPE, Barva de Heredia Costa Rica.



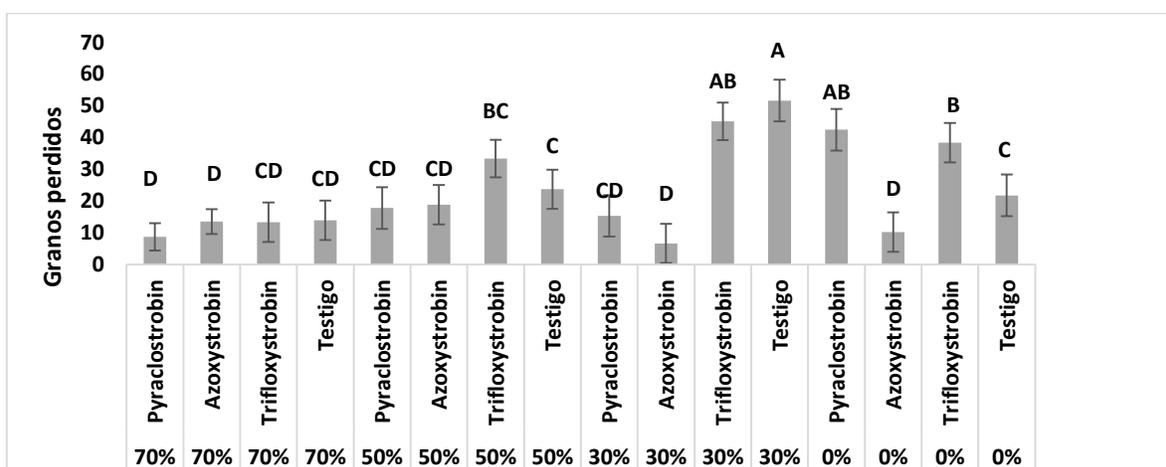
**Figura 22.** Pérdida de granos de las plantas con la aplicación de diferentes fungicidas en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrero, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAPE, Barva de Heredia Costa Rica.

Con respecto al efecto de la interacción de los fungicidas aplicados con el porcentaje de sombra utilizado sobre la producción (figura 23) se observa que la utilización de las estrobirulinas disminuye la pérdida de granos comparado con el testigo. Este mismo comportamiento se ve en la cantidad de granos amarillos y negros (figura 20), ya que, al utilizar fungicidas existe una menor cantidad de este tipo de grano, pero no existe ninguna tendencia de una mayor efectividad de alguno de los tres tipos de estrobirulinas en específico.

Al observar la interacción de sombra y fungicida se nota que la menor cantidad de pérdida de granos (figura 22 y 23) y la menor cantidad de granos amarillos y negros (figura 25) se presentan en el bloque de sombra de 70% al que se le aplicó Azoxystrobin. Esto se puede deber a que la utilización de sombra previene la incidencia de enfermedades como antracnosis que afectan la flor y el fruto y por

ende disminuye la pérdida de granos (Muschler 2000). Otra razón por la que existe una menor pérdida de granos en el bloque de 70% de sombra es que la producción de las plantas de este bloque fue menor por lo que la planta está menos susceptible al ataque de enfermedades.

Respecto a las estrobirulinas Azoxystrobin, Pyraclostrobin, Trifloxystrobin tienen el mismo modo de acción, sin embargo, la concentración del ingrediente activo aplicado es diferente. El Azoxystrobin muestra una tendencia de un mayor control de enfermedades que atacan al fruto puesto que presenta una menor pérdida de granos (figura 22 y 23).



**Figura 23.** Pérdida de granos de las plantas de los diferentes bloques de sombra y fungicidas del período de la semana 43 a la 49 del año 2018 CICAPE, Barva de Heredia Costa Rica.

### 5.3 Efecto sobre la calidad del café

Según Lara (2005) la utilización de sombra tiene efectos positivos y significativos sobre las variables de calidad física del grano y su composición bioquímica.

**Cuadro 2.** Diferentes sabores presentes en el café de los diferentes porcentajes de sombra según los resultados de la catación realizada.

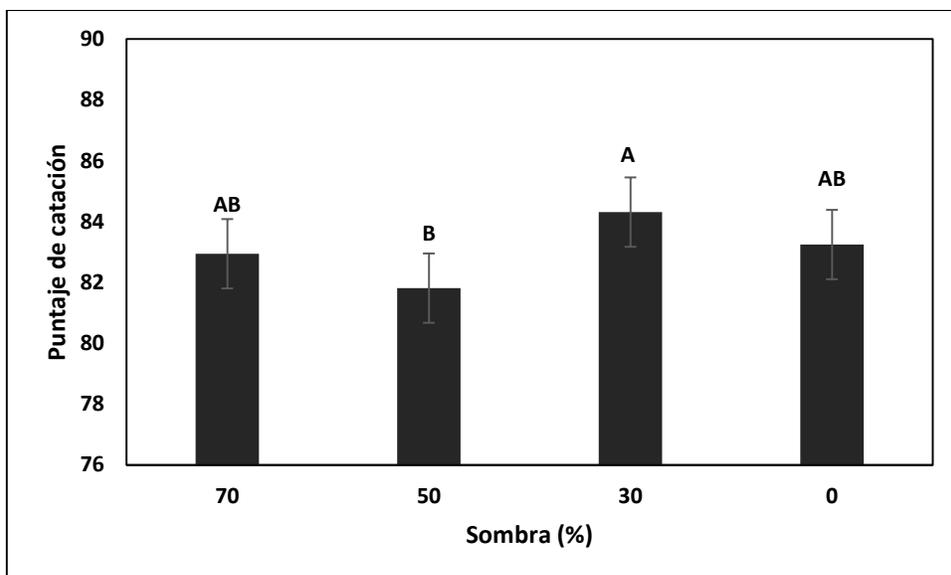
Sabores	Sombra			
	70	50	30	0
Achocolatado	X	x	x	x
Acidez málica			x	x
Balanceado	X			x
Cacao		x		x
Chocolate amargo		x		x
Cremoso	X	x	x	x
Jugoso	X		x	
Limpio		x	x	
Mandarina	X		x	
Toronja		x	x	
Azúcar moreno	X			
Caña de azúcar			x	
Cítrico			x	
Dulce	X			
<b>TOTAL DE ATRIBUTOS</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>6</b>

En la figura 24 y cuadro 2 se observa que no existe una tendencia clara de la influencia de la luminosidad sobre la calidad del café. Sin embargo, la bebida procedente del tratamiento 30% de sombra alcanzó la mejor puntuación y la mayor cantidad de atributos, con respecto a los demás. Sin embargo, los frutos cosechados en este porcentaje de sombra presentan un menor valor de tamaño del grano (figura 24).

Los resultados obtenidos no coinciden con lo expuesto por Vaast et al. (2005) y Muschler (2001) quienes realizaron investigaciones para relacionar las características del sombrero con la calidad del grano de café. Estos autores explican que la utilización de sombra generan una mayor calidad de la taza. Los beneficios

de la sombra se explican principalmente por una reducción del estrés hídrico causado por la exposición a la radiación; así mismo, por proporcionar condiciones óptimas para una buena maduración. Este efecto positivo en la calidad de taza como resultado de la utilización de sombra se puede deber a la lenta maduración del grano, causada por la reducción de la temperatura ambiental a medida que incrementa la altitud; contrario a lo reportado por Bosselmann et al.. (2009) quienes encontraron influencia negativa de la sombra en los atributos sensoriales.

Según Lara (2005) los granos de café de mayor tamaño presentan una mayor calidad de bebida. Esto, porque los frutos grandes presentan una mayor concentración de materia grasa. Las diferencias entre las concentraciones de materia grasa en granos grandes y pequeños indica una mayor acumulación de dicho compuesto conforme ocurre el desarrollo del grano del café en el interior de la cereza. De esta forma, los granos que han alcanzado por completo su maduración presentan mayores acumulaciones de materia grasa que granos que todavía se encuentran en proceso de maduración (Arcila et al. 2007).



**Figura 24.** Puntaje de catación del café en parcelas de cafetos, bajo diferentes niveles de sombrío, del período de la semana 43 a la 49 del año 2018. CICAPE, Barva de Heredia Costa Rica.

#### 5.4 Efecto de los diferentes porcentajes de sombrío sobre plagas y enfermedades

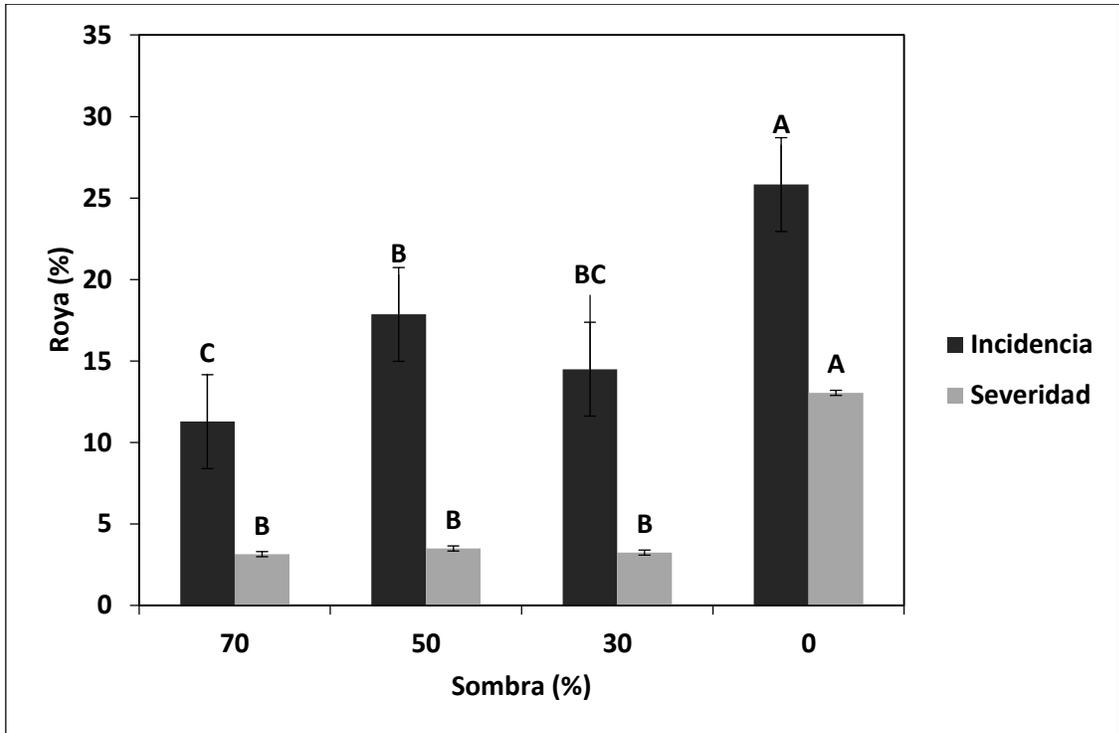
##### 5.4.1 Enfermedades

El microclima y las condiciones generadas por los diferentes porcentajes de sombra pueden influir en el desarrollo de plagas y enfermedades del cultivo del café. En el caso de la roya (figura 25) se observa que existe una mayor incidencia y severidad en el tratamiento de 0% sombra. A 25°C el ciclo de la roya se acorta a 17.6 días con respecto a los 21.6 días que se requieren a 21°C (Avelino, 2013). El bajo nivel de sombra (entre 0 y 30%) es uno de los principales factores que inciden sobre la alta incidencia con manejo convencional de roya. Esta enfermedad es típica de los cafetales con poca sombra (Hernández, 2010).

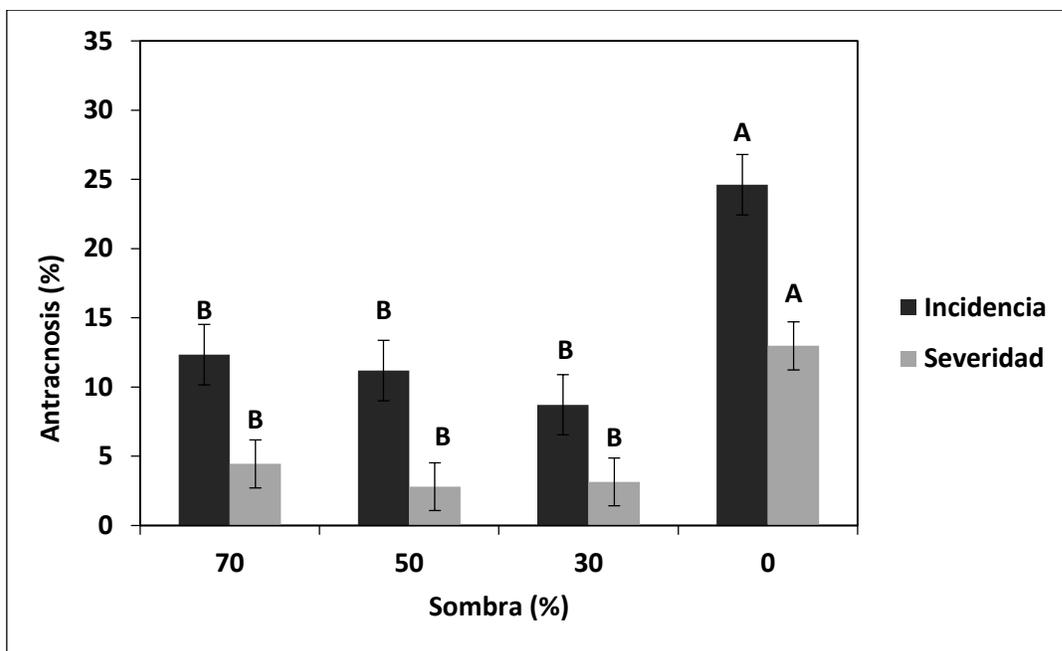
Lo anterior se puede deber a que la sombra intercepta el viento y disminuye la dispersión en seco de las uredosporas de la roya, lo mismo sucede con la lluvia, la sombra intercepta las gotas de agua y cuando la lluvia es poca el agua no llega al café y no se da la dispersión. Asimismo, bajo niveles de sombra altos no hay rocío, única fuente de agua libre en días sin lluvia y la sombra intercepta la radiación (Avelino, 2013).

También, la alta producción, que también es estimulada por alta luminosidad y la mala nutrición pueden acentuar el problema. Este último puede hacerse más evidente en sistemas de producción de café convencional debido a que en éstos las producciones son normalmente altas y extraen altas cantidades de nutrimentos (Hernández, 2010).

Respecto a la antracnosis (figura 26), se observa que existe un comportamiento similar al de la roya ya que existe una mayor incidencia y severidad de la enfermedad en las plantas que están a plena exposición solar. Esta enfermedad se desarrolla a temperaturas de 20°C a 30°C, sin embargo, la temperatura óptima para la germinación de la espora y desarrollo de la lesión es de 22°C. así como la humedad relativa del 80%. Esta enfermedad es importante en plantaciones expuestas plenamente a la luz solar o en plantas agotadas. La antracnosis se muestra sobre tejidos afectados por otras enfermedades, por daños de insectos o por maltrato en las actividades de cultivo, aprovechando la debilidad de la planta (Hernández, 2010).



**Figura 25.** Porcentaje de incidencia y severidad de la roya (*Hemileia vastatrix*) en las plantas bajo diferentes niveles de sombrío, del período las la evaluación realizada en el mes de julio del 2019, Barva de Heredia.



**Figura 26.** Porcentaje de incidencia y severidad de Antracnosis (*Colletotrichum* spp.) en las plantas bajo diferentes niveles de sombrero, del período de la evaluación realizada en el mes de julio del 2019, Barva de Heredia.

#### 5.4.2 Insectos

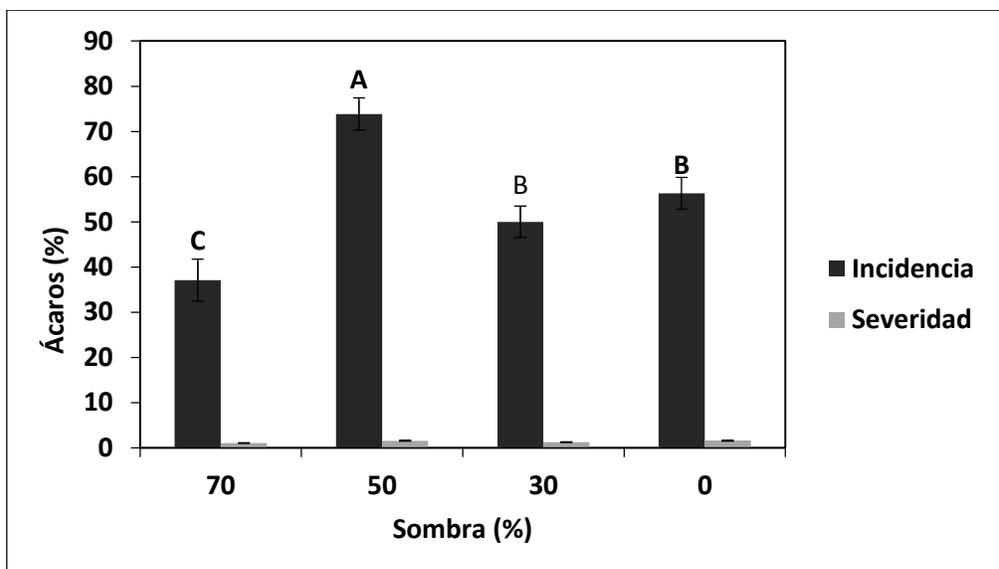
Se realizó la evaluación de la incidencia y severidad de ácaros en los bloques con diferentes niveles de sombrero ya que durante el desarrollo del proyecto se dio un ataque de esta plaga. Los resultados muestran (figura 27) que la mayor incidencia de esta plaga la obtuvieron las plantas cultivadas en el bloque de 50%, seguido del testigo y el bloque del 30%, los menores valores de incidencia de ácaros lo obtuvieron las plantas con 70% de sombra.

El ácaro que ataca al café es conocido como la arañita roja del café (*Oligonychus yothersi*), estos ácaros son casi imperceptibles, se localizan tanto en la parte superior como en la parte inferior de las hojas de los cafetos. El daño se manifiesta como un bronceado sobre la haz de las hojas cuando los adultos y las ninfas se alimentan succionando la savia. El ataque ocurre generalmente en focos, sin embargo, si las condiciones ambientales son favorables y no se realiza el control al

inicio de la infestación, este ácaro puede dispersarse rápidamente y afectar toda la plantación (Badii y Cerna 2010).

Los factores climáticos como la temperatura, humedad, lluvia, sequía y viento influyen sobre el comportamiento, abundancia y distribución de las poblaciones de la arañita roja. Dado que este ácaro no tiene alas, su movilidad depende del viento, el cual es el principal factor de dispersión de un lote a otro y entre fincas. La temperatura es uno de los factores ambientales que afecta las poblaciones del ácaro. Las altas temperaturas promueven el aumento en la tasa de oviposición, la fecundidad y el desarrollo generacional. El desarrollo desde huevo hasta adulto es más rápido cuando la temperatura aumenta, por eso durante períodos prolongados de sequía y altas temperaturas se incrementan notoriamente (Zulma et al. 2013).

Las condiciones climáticas presentes durante las épocas lluviosas son factores de mortalidad natural de arañita roja, al habitar principalmente en el haz de las hojas del café, que son de textura lisa, las larvas, ninfas y adultos son lavados fácilmente, además el efecto físico que produce el agua depositada sobre la lámina foliar afecta a los huevos y estados móviles de la arañita roja. Por esta razón esta especie es muy adaptada a lugares con sombra (Zulma et al. 2013).



**Figura 27.** Porcentaje de incidencia y severidad de ácaros en los diferentes bloques de sombra del período de la evaluación realizada en el mes de julio del 2019, Barva de Heredia.

### 5.5.3 Malezas

Estudios realizados en Costa Rica demuestran que la sombra mayor al 50% suprime totalmente gramíneas agresivas y reduce fuertemente las malezas de hoja ancha comparado con plantaciones expuestas a pleno sol. Por esta razón, se observa una mayor cantidad de malezas en cafetales a pleno sol, comparado con cafetales sombreados (Cabón 2015).

**Cuadro 3.** Familia, porcentaje de cobertura (%) y altura de las malezas encontradas en los diferentes tratamientos de sombra.

Sombra	Familia	% de Cobertura	Altura	Estado de desarrollo
0%	Apiaceae	3	15	Vegetativo
	Asteraceae	38	12	Vegetativo/Floración
	Commelinaceae	53	10	Vegetativo

	Portulacaceae	2	14	Floración
30%	Asteraceae	47	35	Floración
	Commelinaceae	15	13	Vegetativo
	Cyperaceae	5	33	Floración
	Poaceae	7	20	Vegetativo
50%	Asteraceae	2	12	Vegetativo
	Commelinaceae	60	15	Vegetativo/Floración
	Portulacaceae	3	10	Vegetativo
70%	Commelinaceae	45	10	Vegetativo

En el cuadro 3 se observa que existe una mayor variedad de malezas en los tratamientos de 0% y 30% sombra, donde las familias predominantes son las Commelinaceae y Asteraceae las cuales se encontraron en estado vegetativo y floración. En el porcentaje de sombra de 70% únicamente está presente la familia Commelinaceae. Esto indica que la sombra permite una reducción de las malezas, lo cual se puede deber a que existe una menor cantidad de luz que llega al suelo y cuando hay presencia de árboles también influye el mulch que se produce, producto de la caída natural de las hojas y de la poda de los árboles (Villarreyna y Avelino, 2016).

## 6 Conclusiones y recomendaciones

Bajo sombra del 70% se observó una menor temperatura y radiación por lo que la humedad relativa fue mayor mientras que a pleno sol la temperatura y la radiación aumentan.

La utilización de sombra aumenta el crecimiento ortotrópico y plagiotrópico de las plantas de café. Sin embargo, se recomienda realizar más evaluaciones para valorar el comportamiento de las plantas y el agotamiento de las mismas a lo largo del tiempo.

La utilización de sombra disminuye la incidencia y severidad de la roya y antracnosis en las plantas del café, pero también disminuye la producción de fruto y la calidad del café (Anexo 2).

Los porcentajes de sombra del 30% presentan una mejor calidad de taza. Por esta razón se recomienda utilizar porcentajes de sombra mayores al 30% y menores al 50%.

La interacción de la molécula Azoxystrobin con un porcentaje de sombra del 30% tienden a disminuir la pérdida de frutos por planta. Sin embargo, se recomienda realizar más evaluaciones para determinar su efectividad a lo largo del tiempo.

## 5. Literatura citada

- Aguilar, B. 2005. Efecto de la sombra y fertilización sobre el crecimiento, estructura productiva, rendimiento y calidad del café (*Coffea arabica*) vr Costa Rica 95. Tesis Dip. Managua, NIC. 82p.
- Alfaro, V. 2015. Efectos de la altitud sobre las características físicas y organolépticas del café de la zona de los Santos. Tesis Lic. Cartago, Costa Rica. 147p.
- Arcila, P; J.; Fáfán, V; Moreno, B; Salazar, G; Hincapié. 2007. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná, COL. CENICAFE.309 p.
- Avelino, J; Rivas, G. La roya anaranjada del cafeto. 2013. IICA.15. 194-224.
- Ayala, M; Almanza, P; Serrano, P. 2013. Effect of applying Pyraclostrobin+Epoxiconazole in the strawberry production (Fragaria sp.). Ciencia y Agricultura. 11: 35-46.
- Badii, M; Cerna, E. 2010. Population Regulation of Pest Mites of Agricultural Significance. Daena: International Journal of Good Conscience. 5(1) 270-302.
- BASF. sf. BASF Agro Argentina: Agcelence. Consultado 22 sep. 2018. Disponible en <https://agriculture.basf.com/ar/es/Proteccio%CC%81n-de-los-cultivos/AgCelence.html>
- Bosselmann, A. S.; Dons, K.; Oberthur, T.; Olsen, C. S.; Ræbild, A.; y Usma, H. 2009. The influence of shade trees on coffee quality in small holder coffee agroforestry systems in Southern Colombia. Agric. Ecosyst. Environ. 129(103):253 - 260.
- Cabon, M. 2015. Effect of shade on microclimate, soil fertility and productivity of coffee trees in Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. Report Internship job. CIRAD-CATIE. 31 p.
- Camayo, V; Chávez, C; Arcila, P; Jaramillo, R. 2003. Desarrollo floral del cafeto y su relación con el clima. CENICAFE. 54: 35-49.

CENICAFE, sf. Desarrollo del café. Consultado 28 oct. 2019. Disponible en <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/861/3/Desarrollo%20cafeto.pdf>

Chaves, R; Ten, A; Pinheiro, H; Ribeiro, A; DaMatta, F. 2008. Seasonal changes in photoprotective mechanisms of leaves from shaded and unshaded field-grown coffee (*Coffea arabica* L.) trees. *Trees* 22:351-361.

Chavéz, C. 2013. Determinación del efecto de aplicaciones de fungicidas en verano con el fin de disminuir el inóculo residual de ojo de gallo (*Mycena citricolor Berk, y Curt*) Sacc, en el cultivo de cafeto (*Coffea arabica*). Tesis Lic, San José, CR. 48p

Coletto, J. 1995. Crecimiento y desarrollo de las especies frutales. 2. Mundi- Prensa. Madrid

Debel, B; Ayalew, B; Ocho, F; . Anten, N; Vos, J. 2018. Analysis of coffee (*Coffea arabica* L.) performance in relation to radiation levels and rates of nitrogen supply I. Vegetative growth, production and distribution of biomass and radiation use efficiency. *European Journal of Agronomy* 92: 115–122.

Echeverría, L. 2012. Efectividad biológica del fungicida Azoxystrobin en *Alternaria alternata* de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) invitro. Tesis Lic. Cohauila, MEX. 49p.

Elser, J. 2014. Tipología de manejo agronómico en el crecimiento, productividad y calidad física de café (*coffea arabica* var. catimor) en el Valle de Santa Cruz, distrito de Río Tambo, provincia de Satipo y región Junín. Tesis Lic, Satipo, PER.

Farfán, M; Jaramillo, G. 2010. Efecto de la distribución espacial del sombrero de especies leguminosas sobre la producción del café. *CENICAFE*. 61: 31-45.

Fischer, G; Pérez, C. 2014. Memorias Congreso Internacional de Hortalizas en el Trópico: La Olericultura Colombiana, Nuevos Retos para Enfrentar los Tratados de Libre Comercio (1, 2015, Bogotá, Colombia). Bogotá, Colombia. 15 p.

- Fournier, A. 1987. El cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.) al sol o a la sombra: un enfoque agronomico y ecofisiologico. *Agronomía costarricense*. 12: 131-146.
- García, R. 2013. Incidencia y severidad de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) y evaluación de alternativas químicas para su control. Tesis Lic, Esquintla, GUA. 61p.
- Gil, L. 2002. La enfermedad de las cerezas del café (ECC), ocasionada por el hongo *Colletotrichum kahawae*. CENICAFE. 28 -36.
- Gotteland, M; Saturnino, P. 2007. Some trues concerning the coffee. *Revista Chilena de Nutrición*, 34: 1-12.
- Granados, G; Rodríguez, A; Sancho, R. 2008. Importancia de la diversificación de los árboles de sombra para la conservación de la fauna en los ecosistemas cafetaleros en San Isidro de San Ramón, 2003. *Pensamiento Actual*: 8: 74-81.
- Hernández, A. 2010. Incidencia de enfermedades foliares del café bajo diversos tipos de sombra y manejo de insumos, en sistemas agroforestales, Turrialba, Costa rica. Tesis Lic, Cartago, CR. 90p.
- INSTITUTO DEL CAFÉ DE COSTA RICA Centro de Investigaciones en Café (ICAFFE). 2011. Guía Técnica para el Cultivo del Café. Costa Rica. ICAFFE-CICAFFE 72 p.
- INSTITUTO DEL CAFÉ DE COSTA RICA. 2014. Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica. Congreso Nacional Cafetalero Ordinario. San José, CR. p. 101
- Lara, L. 2005. Efectos de la altitud, sombra, producción y fertilización sobre la calidad del café (*Coffea arabica*) L. var. caturra) producido en sistemas agroforestales de la zona cafetalera norcentral de Nicaragua. Tesis Lic, Turrialba, CR. 92p.

- López, B; Virginio, F; Avelino, J. 2012. Shade is conducive to coffee rust as compared to full sun exposure under standardized fruit load conditions. *Crop Protection* 38:21-29.
- López, T. 2012. Producción de raíces finas y micorrización en café (*Coffea arabica* L) cultivado bajo sistema convencional y orgánico en Turrialba, Costa Rica. Tesis Lic. Catacamas, HON. 81
- Montagnini, F; Somarriba, E; Murgueitio, H; Fassola, E. 2014. Biodiversidad y conservación de bosques: funciones potenciales de los sistemas agroforestales. *CATIE Informe técnico*. 402: 1-462.
- Montoya, C; Robledo, A. 2016. Efecto de la sombra en la producción del café. *Cenicafé*. 67:58-65.
- Mora, N. 2018. Agrocadena de Café (en línea). Huetar Norte, Costa Rica. . Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 49 p. Consultado 29 jun. 2018. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E70-9314.pdf>
- Muschler, R. 2000. Árboles en cafetales. Cartago, CR, CATIE-Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. 139 p.
- Muschler, R. 2001. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. *Agroforest. Syst.* 85:131 - 139.
- Naranjo, V. 2018. Efecto de diferentes tipos de manejo de nutrición y sombra sobre la resistencia fisiológica a *Hemileia vastatrix*, mediante inoculaciones en disco de hojas en laboratorio. *CATIE*. 15: 16-56.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2015. Seminario científico internacional manejo agroecológico de plagas y enfermedades del café. Ciudad de Panamá. PAN. 96 p.
- Palacios, Z; Constantino, L; Martínez, H; Benavides, P. 2013. Aprenda a manejar la arañita roja del café *Oligonychus yothersi* (Acari: Tetranychidae). *CENICAFE*. 12: 1-8.

- Pérez, C; Suarez, C. 2011. Evaluación del efecto sombra en la producción de café –(*Coffea arabica L*) - dentro de un sistema agroforestal tradicional con árboles en Las Minas, El Paraíso, Honduras. Tesis Lic, Zamorano, HON. 29p.
- Quesada, K; Taleno, B; Pilz, M; Hernández, R; Pohlan, J; Barrios, M; Hagggar, J; Moya, W. 2011. Árboles de sombra e intensidad del cultivo afectan el rendimiento de café (*Coffea arabica l.*) y la valoración ecológica en Masatepe, Nicaragua. La Calera. 11: 41-47.
- Rajendran, C; Ramamoorth, S; Hepziba, S. 2009. Nutritional and physiological disorders in crop plants. Scientific Publishers, Jodhpur, India. 116p
- Rivilla, O; Serna, G; Cristancho, A; Gaitán, B. 2011. La Roya del Cafeto en Colombia, Impacto, manejo y costos del control. Chinchiná, Colombia, CENICAFE. p 21-22.
- Rodríguez, A. 2003. Implementación de las técnicas de etiolación y acodo y microclonación en paltos (*Persea americana* Mill). Tesis Lic, Quelota, CHI. 69p.
- Rosales, 2013. Evaluación de los impactos potenciales de la variabilidad y cambios climáticos en la producción de café (*Coffea arabica*) en Coatepec, Veracruz. Tesis Lic, DF, MEX. 112p.
- Samayoa, J; Sánchez, V. 2001. Comparación de la incidencia de enfermedades del fruto en sistemas de producción de café orgánico y convencional. Manejo Integrado de Plagas. 60: 36–42.
- Samayoa, J; Sánchez, V. 2001. Comparación de la incidencia de enfermedades del fruto en sistemas de producción de café orgánico y convencional. Manejo Integrado de Plagas. 60: 36 – 42.
- Solórzano, J; Pinto, L; Camacaro, S; Vargas, D; Ríos, L. 2018. Effect of the presence of shade in sheep grazing areas. Pastos y Forrajes.41: 36-46.

- Vaast, P.; Kanten, V.; Siles, P.; Dzib, B.; Franck, N.; y Harmand, J. M. 2005. Shade: A key factor for coffee sustainability and quality. 20th International Conference on coffee science ASIC, Bangalore, India. 887 p.
- Velazco, M; Verdecia, J; Medina, R; Rodríguez, L. 2001. Variaciones en el microclima de un cafetal en dependencia de la exposición a la radiación solar en las condiciones del Macizo de la Sierra Maestra. Cultivos Tropicales. 22: 53-59.
- Villarreyana, A, 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. San José. CR. CATIE. 38p.
- Villers, L; Arizpe, N; Orellana, R; Conde, C; Hernández, J. 2009. Impactos del cambio climático en la floración y desarrollo del fruto del café en Veracruz, México. Interciencia. 34: 12-20.
- Virginio, F, Astorga, D. Prevención y control de la roya del café. 2015. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 10-98
- World coffee research. (WCR). sf. Villa Sarchí. Consultado 24 oct. 2019. Disponible en <https://varieties.worldcoffeeresearch.org/varieties/villa-sarchi>
- Zapata, A; Castañeda, A; Abril, N. 2017. Ecophysiology performance of coffee (*Coffea arabica* L.) cv. Castillo in agroforestry systems in Tibacuy, Cundinamarca. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica 20: 61 – 70.
- Zulma, N; Constantino, L; Martinez, H; Benavidez, P. 2013. Aprenda a Manejar la Arañita Roja del Café. CENICAFE. 436: 1-8.

## 6. Anexos



### Reporte de Resultados Análisis Químico de Suelos

Pág 1 de 1

**Interesado:** CICAPE - (Control de Plagas y Manejo Agronómico)  
**Representante:** DANIEL RAMIREZ VALERIO  
**Cliente:** 204770188 MAINOR DE JESUS ROJAS BARRANTES  
**N° Boleta:** 1 **Fecha Muestreo:** 06/12/2018  
 Nombre de Ensayo: Lote Sarán

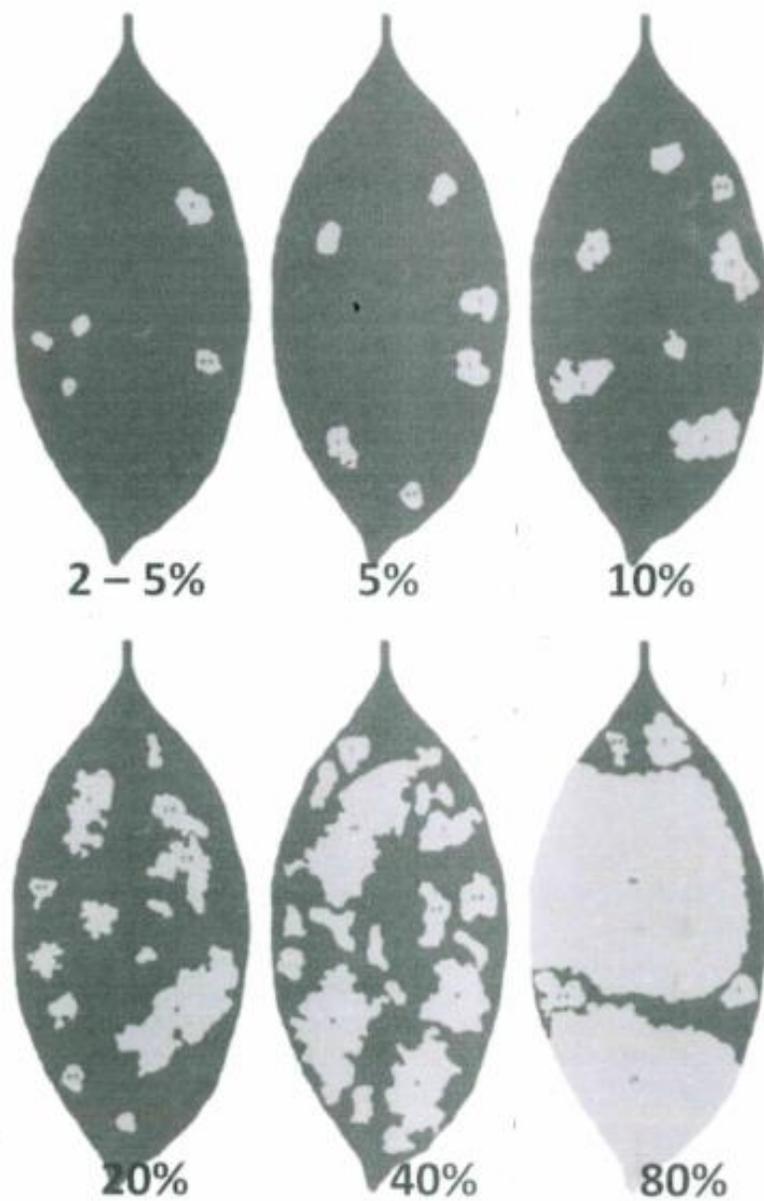
**Cuadro I. Resultado del análisis cuantitativo**

Código Origen	Código Labor.	pH Icafe-18-01 (R10)	Acidez cmol (+)/L Icafe-18-02 (KCl)	K cmol (+)/L Icafe-18-03 (Clean)	Ca cmol (+)/L Icafe-18-04 (KCl)	Mg cmol (+)/L Icafe-18-05 (KCl)	P mg/L Icafe-18-06 (Clean)	Cu mg/L Icafe-18-07 (Clean)	Zn mg/L Icafe-18-10 (Clean)	Mn mg/L Icafe-18-09 (Clean)	Fe mg/L Icafe-18-08 (Clean)
0%	S-047-1	4,90	1,79	0,34	2,20	0,39	50,9	20	2,8	8	141
30%	S-047-2	4,81	1,88	0,39	2,24	0,47	43,4	19	2,1	8	143
50%	S-047-3	5,16	1,57	0,38	2,03	0,66	32,3	16	1,9	7	117
70%	S-047-4	4,46	2,67	0,27	0,79	0,22	39,8	18	1,6	6	145

**Anexo 1.** Análisis de suelo de los diferentes bloques de sombra.

**Anexo 2.** Resumen de los resultados de las principales variables evaluadas en el ensayo

Sombra (%)	Crecimiento (cm)	Largo bandola (cm)	# Hojas	Fanegas/Ha	Catación	Incidencia de roya	Incidencia de ojo de gallo	Incidencia de ácaros
0	46	28	15	55	83	11	56	25
30	43	29	19	47	84	15	50	9
50	48	32	17	30	83	18	74	11
70	51	31	15	10	82	11	37	12



**Anexo 3.** Escala de severidad de roya utilizada en el CICAPE.