UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA DE AGRONOMÍA

Tesis

Previo a la obtención de título de Ingeniero Agrónomo

Tema:

Influencia de la sombra en el comportamiento productivo del café (*Coffea arabica* L.) en sistemas agroforestales al Sur de Manabí

Modalidad:

Trabajo de investigación

Autores:

Gómez Bibiana Paola

Mera Carrillo Cristhian Rodrigo

Tutores

Ing. Julio Adolfo Corzo Bacallao, PhD

Ing. Carlos Alfredo Salas Macías, PhD

Portoviejo- Manabí- Ecuador

Tema:

Influencia de la sombra en el comportamiento productivo del café (*Coffea arabica* L.) en sistemas agroforestales al Sur de Manabí

Dedicatoria

A la gloria de Dios que me sustenta cada día.

A mi madre, a quién le agradezco la vida.

A mi compañero de vida Edison Carvajal, que a todos lados me acompaña.

A mis hijos Brayan y Juliana, que son mi motor de vida.

A mis hermanos, en especial Juan, que siempre está ahí cuando más lo necesito.

A mí que gracias a un anhelo constante de cumplir la meta que hoy tengo el gusto de culminar, superé muchos obstáculos.

Bibiana Paola Gómez

Dedicatoria

A Dios por guiarme siempre en mi camino.

A mis padres que estuvieron apoyándome en cada momento, en especial mi madre Ruth Carrillo, quién siempre ha sido mi motivación a lo largo de mis estudios.

A mi querida y futura esposa Angélica Macías, quien estuvo presente a lo largo de la carrera universitaria, animándome en todo momento a seguir adelante.

Cristhian Mera Carrillo

Agradecimiento

Este tan anhelado triunfo es el resultado de la suma del esfuerzo de muchos, por lo cual agradecemos a quienes lo hicieron posible; primero a Dios por su guía y bendición, a nuestras familias que con constancia nos alentaron para seguir siempre adelante, a los docentes, que con paciencia y esmero compartieron sus conocimientos y experiencias con nosotros, a mis compañeros que entre desacuerdos, sumamos para cumplir con los deberes, a los doctores Carlos Salas y Julio Corzo, dos grandes seres humanos y profesionales, que a pesar de sus múltiples ocupaciones siempre estaban para guiarnos y apoyarnos en el desarrollo de la investigación, a la Universidad Técnica de Manabí por la oportunidad de capacitarnos.

Certificación de la Comisión de Revisión y Evaluación

Declaración sobre derechos de autor

La responsabilidad y esfuerzo de este documento, sus ideas, criterios, conclusiones y resultados, se efectuaron bajo la modalidad de Proyecto de Investigación titulado **Influencia de la sombra en el comportamiento productivo del café (*Coffea arabica* L.) en sistemas agroforestales al Sur de Manabí**, los cuales pertenecen exclusivamente a sus autores.

Los Autores

Índice general

1. Introducción 1

Planteamiento del problema 3

Justificación 3

2. Objetivos 3

2.1 Objetivo general 3

2.2 Objetivos específicos 3

3. Marco teórico 4

3.1 Bases conceptuales 4

3.2 Revisión de la literatura 4

Reseña del café en el país y la provincia e importancia del café. 4

Cambio Climático y agricultura 5

Cobertura arbórea en Manabí e importancia de sistemas agroforestales para la producción agropecuaria sostenible. 6

Otros efectos de la sombra en la producción de café 7

Aplicaciones informáticas utilizadas 8

4. Materiales y Métodos 9

4.1. Diseño de la Investigación. 9

4.2. Hipótesis 9

4.3. Análisis de datos. 9

Caracterización de la sombra arbórea 9

Indicadores fenológicos para el comportamiento del café 10

Temperatura y humedad del aire 10

4.4 Análisis Estadístico 11

5. Resultados y Discusión 11

5.1 Inventario arbóreo 11

5.2 Influencia de la temperatura y la humedad del aire 13

5.2.1. Influencia de la temperatura y la humedad del aire por finca 15

5.3 Influencia de la Iluminación (I) y la finca (F) 16

5.3.1 Efectos de Finca (F) 19

5.3.2 Efecto de la iluminación (I) 22

6. Conclusiones 26

7. Recomendaciones 26

8. Referencias bibliográficas 27

Anexos 33

Índice de Figuras

Figura 1 12

Figura 2 12

Figura 3 13

Figura 4 14

Figura 5 14

Figura 6 15

Figura 7 16

Figura 8 16

Figura 9 17

Figura 10 18

Figura 11 18

Figura 12 19

Figura 13 20

Figura 14 20

Figura 15 21

Figura 16 22

Figura 17 23

Figura 18 24

Figura 19 24

Figura 20 25

Índice de Anexos

Anexo 1. Ubicación de Data Loger en la zona de estudio......33

Anexo 2. Toma de datos para la encuesta......33

Anexo 3. Afectaciones en el desarrollo vegetativo de los cafetos.....34

Anexo 4. Arbusto de café sano y muy cargado del borde de la parcela que recibía sol en la mañana en la finca Santa Ana......34

Anexo 5. Severidad del daño en su etapa inicial, como en una planta frondosa sus hojas se van secando en la finca Santa Ana.....35

Anexo 6. Cafetos con sus ramas productivas deshojadas.....35

Anexo 7. Rama productiva cuyos frutos fueron poco afectados.....36

Anexo 8. Cafeto totalmente descubierto en su tercio medio y bajo, consecuencia del mal de hilacha.....36

Anexo 9. Daño en el fruto después de haber tratado la enfermedad y la planta haberse revestido nuevamente en la finca Santa Ana.....37

Anexo 10. Frutos afectados por el mal de hilacha y abortados en la finca Santa Ana.37

Anexo 11. Momificación de frutos por el mal de hilacha en Santa Ana.....38

Anexo 12. plantas con una severidad leve del mal de hilacha, por un control oportuno.
.....38

Anexo 13. Medición de la Iluminación con el luxómetro.....39

Anexo 14. Medición del DAP con cinta métrica.....39

Anexo 15. Identificación de los cafetos.....40

Anexo 16. Trabajo de campo.....40

Anexo 17. Cafeto sano con ramas cargadas de frutos.....41

Resumen

En dos parcelas de 2500m2 (50 x 50m) con una población en cada finca de 781 cafetos de la variedad Sarchimor (*Coffea arabica*) establecida en sistemas agroforestales (SAF) ubicados en las fincas (F) Santa Ana y Noboa, con 48 y 36 árboles respectivamente, de 21 especies. Se evaluó el efecto de 4 rangos de iluminación (I; I_1 :0-500, I_2 : 501-1000, I_3 :1001-1500 e I_4: 1501-2000) sobre indicadores fenológicos relacionados con la producción del grano (IF), recolectados desde marzo a mayo de 2021 en su fase de máximo crecimiento después de la floración: Ramas Totales (RT), Ramas Productivas Totales (RPT), Nudos por Rama Productiva (NRP), Nudos productivos (NP), Frutos (o flores) por Rama Productiva (FRP), medidos en una muestra de 192 (Santa Ana) y 144 (Noboa) cafetos (4 cafetos/árbol; 2 bajo sombra, 2 fuera de sombra). Los resultados del análisis de varianza factorial F x I mostraron efectos significativos sobre algunos IF, aunque no su interacción. Es relevante la influencia de F sobre el promedio de RT, RPT y NRP, con valores mayores en la finca Noboa vs Santa Ana (RT: 21.62 vs 9.26; RPT: 13.65 vs 6.79; NRP: 14.31 vs 10.31), en correspondencia con los mayores niveles de I en Noboa vs los de Santa Ana (615.13 lx vs 340.27 lx). Por otra parte, los efectos significativos de I sobre RT y RPT (aunque no en NRP), demostraron una relación directa entre el desarrollo vegetativo expresado por estos IF y el nivel de iluminación, lo que esencialmente coincide con lo visualizado entre fincas. Este mismo patrón se corroboró en un análisis de regresión simple. Con estos antecedentes, se concluye que la sombra arbórea en SAF influye en el desarrollo vegetativo de los cafetos, pero no en su floración y fructificación.

Palabras clave: Café, Producción, Sistema agroforestal, sombra.

Abstract

In two plots of 2500 m^2 (50 x 50m) with a population in each farm of 781 coffee trees of the Sarchimor variety (Coffea arabica) established in agroforestry systems (SAF) located in the farms (F) Santa Ana and Noboa, with 48 and 36 trees respectively, of 21 species. The effect of 4 illumination ranges was evaluated (I in lux -lx; I_1 :0-500, I_2 : 501-1000, I_3 : 1001-1500 and I_4: 1501-2000) on phenological indicators related to grain production (IF), harvested from March to May 2021 in its phase of maximum growth after flowering: Total Branches (RT), Total Productive Branches (RPT), Knots per Productive Branch (NRP), Productive knots (NP), Fruits (or flowers) per Productive Branch (FRP), measured in a sample of 192 (Santa Ana) and 144 (Noboa) coffee trees (4 coffee trees/tree; 2 under shade, 2 out of shade). The results of the factorial analysis of variance F x I showed significant effects on some FI's, although not their interaction. The influence of F on the average of RT, RPT and NRP is relevant, with higher values in the Noboa vs Santa Ana farm (RT: 21.62 vs 9.26; RPT: 13.65 vs 6.79; NRP: 14.31 vs 10.31), in correspondence with the highest levels of I in Noboa vs those of Santa Ana (615.13 lx vs 340.27 lx). On the other hand, the significant effects of I on RT and RPT (although not on NRP), demonstrated a direct relationship between the vegetative development expressed by these FI's and the level of illumination, which essentially coincides with what is visualized between farms. This same pattern was corroborated in a simple regression analysis. With this background, it is concluded that the tree shade in SAF influences the vegetative development of coffee trees, but not their flowering and fruiting.

Keywords: Coffee, Production, Agroforestry system, shad

Influencia de la sombra en el comportamiento productivo del café (*Coffea arabica* L.) bajo sistemas agroforestales al Sur de Manabí

1. Introducción

El café, la segunda bebida más consumida en el mundo después del agua, tiene sus orígenes en lo que hoy se conoce como Etiopía y desde el siglo XVIII se produce café con fines comerciales en Ecuador (Pierre, 1965), como productor, fluctúa entre el decimonoveno y el vigésimo puesto a nivel mundial, y el cuarto en América Latina (Ekos, 2019). El auge en producción y exportación se dio en las primeras décadas del siglo XX y en la actualidad se trabaja en su recuperación productiva después de un declive originado por diversas causas (Guerrero, 2013).

Una de las direcciones estratégicas identificadas ha sido la recuperación de los mercados, tanto a nivel nacional como en los de exportación como pivote para la rentabilización del cultivo aprovechando el patrimonio cultural preexistente (Robles, 2015) y las bondades agroclimáticas de zonas tradicionalmente cafetaleras del Ecuador (Portilla, 2018). En este contexto, un caso de especial relevancia es el de la provincia de Manabí, que destaca en producción de café (Santistevan Méndez et al., 2014). Es muy significativo que estos resultados se hayan alcanzado en condiciones agroclimáticas atípicas, al menos en lo concerniente a altitud, conociendo que, en la generalidad de casos exitosos, la calidad organoléptica del grano está directamente condicionada por ese factor (Buenaventura y Castaño, 2002; Farfán, 2007).

En efecto, las zonas tradicionalmente cafetaleras en Manabí están enclavadas a alturas entre 40 y 600 msnm, muy diferentes a las reconocidas mundialmente como productoras del mejor café, lo cual ha sido asociado a los efectos de la corriente fría de Humboldt, el bosque y la modelación microclimática que reproduce la que naturalmente sucede a mayores alturas (Duicela et al., 2002; Suicela et al., 2016). Por otra parte, se sabe que la sombra beneficia a las propiedades organolépticas del grano (Suárez et al., 2014) y que los mejores atributos sensoriales se obtienen a mayores alturas sobre el nivel del mar, en cuanto a los niveles de sombra algunos autores mencionan un porcentaje no superior a 45%, otros hasta un 25% y hasta el 80% (Muschler, 2001). Aunque, la radiación solar en cantidad y calidad es un factor

con influencia directa en la producción, esto dependerá mucho de otros factores que interactúan en el sistema (Lee et al., 2007; Farfán Valencia y Jaramillo Robledo, 2009).

Ecuador se caracteriza por sembrar dos especies muy tradicionales: el arábico (*Coffea arabica* L.) y el robusta (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) (Ponce et al., 2018), y se cultiva tradicionalmente en asociación con árboles maderables y/o frutales en sistemas agroforestales (SAF), que brindan servicios ecosistémicos como la mejora de la fertilidad del suelo, reditúa los ingresos de los agricultores (Azembouh et al., 2021) al aprovechar los frutos del bosque y facilita la producción de cafés especiales (González y Serna, 2018) que se podrían comercializar como marca carbono neutro y cultivado en un ambiente biodiverso (Saleem Khan, 2019). Además, la sombra reduce la emisión de botones florales, lo que evita fluctuaciones productivas y el agotamiento de la planta comparadas con las plantas a pleno sol (Villareyna et al., 2016b).

Las respuestas en el desarrollo y producción de los cultivos bajo SAF no dependen solo del manejo del cultivo de café, sino también del tipo y manejo de la sombra; así, se ha demostrado que una sombra heterogénea favorece mayor producción de frutos por planta que una homogénea, aunque también depende de los insumos que se utilicen, de la disponibilidad de agua en el sistema y de la macrofauna existente en el suelo (Estivariz y Muschler, 1998; Villareyna et al., 2016b).

La rentabilidad de la producción de café se ha reducido significativamente a través de los años, enfrentando en la actualidad un deterioro de su competitividad en el mercado, no sólo por el cambio del sistema de precio, sino por su alta volatilidad. Ello ha afectado a los productores, ante todo a los propietarios de pequeños minifundios que constituyen la mayoría, cuyos bajos ingresos limitan el progreso, la calidad de vida y la cantidad producida actualmente (Delgado y Pérez, 2011).

En este contexto, los SAF pudieran generar un valor agregado al café y considerarse como una medida de protección a los ingresos de los productores ante la incertidumbre mundial de los precios del mercado. Adicionalmente, se evitaría la explotación irracional de la tierra, por el enorme potencial que tiene estos sistemas para contribuir a la fertilidad del suelo; lo que garantizaría la sostenibilidad del cultivo en el tiempo (Delgado y Pérez, 2011;

Tsufac et al., 2021), ya que un café sin sombra es menos resiliente ante el cambio climático anunciado (Villareyna et al., 2016b).

Planteamiento del problema

Ante esta realidad se hace cada vez más indispensable el estudio de la influencia de la sombra en el comportamiento productivo de cafetales en el sistema agroforestal y como contribución en la mitigación y adaptación al cambio climático para este cultivo. Con estos antecedentes el problema de investigación se formula en la siguiente pregunta:

¿Cuál es la influencia de la sombra arbórea sobre indicadores fenológicos de la producción cuantitativa del café en sistemas agroforestales al sur de Manabí?

Justificación

Los SAF cafetaleros constituyen una alternativa agroecológicamente sustentable en zonas muy vulnerables a la degradación ambiental de los ecosistemas. Por otra parte, además de los servicios ecosistémicos asociados a los SAF se reconoce la importancia de la sombra en las condiciones edafoclimáticas y su influencia directa e indirecta en la producción cuantitativa y cualitativa de café. Este trabajo a más de evaluar la influencia de la sombra en la producción de café en el sur de Manabí, también sería un aporte inicial para otros trabajos que permitan profundizar el conocimiento sobre el valor agregado que aportan los SAF a la producción de café en esta misma zona.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Determinar la influencia de la sombra en el comportamiento productivo del café (*Coffea arabica* L.) bajo sistema agroforestal al Sur de Manabí.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar las especies del dosel arbóreo de las fincas Santa Ana y Noboa.
- Medir las características morfológicas de las que depende la estimación de la magnitud de la sombra en ambas fincas

- Estimar las influencias de la sombra del dosel arbóreo sobre el desarrollo fenológico vinculado a indicadores de la producción cuantitativa de café de ambas fincas.

3. Marco teórico

3.1 Bases conceptuales

Duicela (2017) describe los siguientes indicadores fenológicos, necesarios para pronosticar la producción.

RT: Ramas Totales, son la cantidad de ramas que tiene el cafeto en la parte media y baja, ya que el alta no se toma en cuenta para hacer un pronóstico de producción

RPT: Ramas productivas totales, es la cantidad de ramas que tengan flor o fruto en la parte media y baja.

NRP: Promedio de nudos por rama productiva. De la rama que se escoge tanto en la parte media como baja, se cuentan los nudos, teniendo en cuenta el vértice principal y si tiene ramificaciones.

NPRP: Promedio de nudos productivos por rama productiva, de la cantidad de nudos que tenga, se toma en cuenta la cantidad que tengan flor o fruto.

FRP: Promedio de frutos (o flores) por rama productiva, corresponde a la cantidad de flores o frutos que tenga las ramas seleccionas en la parte media y baja del cafeto.

3.2 Revisión de la literatura

Reseña del café en el país y la provincia e importancia del café.

La abundancia productiva que un día se vivió en el país contrasta con una sostenida tendencia a la disminución de su producción que se ilustra de forma convincente en las siguientes cifras: en 2012 se llegó a exportar 56.000 toneladas lo que representó 260 millones de dólares en ingresos (Lizarzaburo, 2020), pero unos años más tarde el país solo contaba con 36047 ha de área cosechada, en las que se produjeron 8141 toneladas con un rendimiento de 225,8 kg/ha (FAOSTAT, 2019). Esta disminución ha sido menos acentuada según otras

fuentes que reportan 29363 ha de superficie dedicada a la producción de 12316 t, con un rendimiento de 0,42 t, equivalente a 420 kg /ha (MAG, 2019). Ésta misma fuente resalta a Sucumbíos, Manabí y Orellana como los territorios con una mayor producción, con 31,83% (3921 t), 22,46% (2766 t) y 12,09% (1488 t), respectivamente.

Según Santistevan et al., (2014) en el cantón Jipijapa cercano a la zona de estudio y considerado el más productor de café en Manabí, el rendimiento del café en cereza, está mayormente entre 10 a 20 qq/ha (57%), aunque hay familias que producen menos de 10qq/ha, si se calcula la equivalencia de cereza a pergamino seco, cuya relación es 5/1, muestra que el rendimiento en general es bajo y que hay una necesidad de darle un manejo técnico a este cultivo.

Cambio Climático y agricultura

Se estima que para el 2050 las partes bajas de Centro y Sudamérica, pierdan idoneidad para cultivar café arábico debido a que los patrones de precipitación disminuirán el rendimiento, reducirán la calidad y aumentarán la presión de plagas y enfermedades (Ovalle et al., 2015). El cambio climático y su variabilidad son una realidad a nivel mundial; sus efectos negativos para Centro y Suramérica han afectado el sector agrícola con fuertes lluvias, sequías, olas de calor, entre otros. Para el año 2030 se prevé un aumento en la temperatura media anual de 1,4ºC en promedio (Bouroncle et al., 2014).

Para el 2050, también aumentaría en los Andes la precipitación de 100 a 170 mm durante la estación húmeda, mientras que, en Brasil, un gran productor de café, disminuiría 50 mm durante la estación seca; pero mantendría su semestre de tiempo seco, mientras en los Andes se alargaría el periodo seco en 1 o 2 meses. En consecuencia, con ese cambio se estima que el 60% de las áreas productoras de café pierdan idoneidad, para lo que se sugiere la adopción de sistemas agroforestales con 50% de cobertura de sombra para conservar el 75% de área apta para éste cultivo en climas como el del sureste de Brasil, máximo productor de América Latina (Gomes et al., 2020).

El impacto del cambio climático en la agricultura trae consigo consecuencia en los efectos biológicos en el rendimiento de los cultivos, afectando su producción, consumo y

precio. (Nelson et al., 2018). En América tropical y subtropical la mayoría de sus cafetales se encuentran establecidos tradicionalmente, o sea como un sistema agroforestal donde los árboles interactúan biológicamente con los cafetos, optimizando la productividad y asegurando su sostenibilidad (Garrett et al., 2002); por ende, se subraya el potencial de estos sistemas en la mitigación del cambio climático, la conservación de la biodiversidad y la regulación del microclima (Turbay et al., 2014).

Cobertura arbórea en Manabí e importancia de sistemas agroforestales para la producción agropecuaria sostenible.

La deforestación es una de las causas importantes en el aumento de las emisiones de gas efecto invernadero lo que ha hecho que los sistemas agroforestales ganen importancia a nivel mundial como apoyo para disminuir la degradación del suelo, proteger el agua y conservar la biodiversidad (Casanova et al., 2016), generar oxígeno, controlar la erosión y capturar carbono (Soto, 2007). Según Global Forest Watch (s.f), Ecuador, perdió 822 kha (k es equivalente a mil) de cobertura arbórea de 2001 a 2019, lo que equivale a una disminución del 4.3% de la cobertura arbórea, y a la pérdida de 367Mt en emisiones de CO_2. En el caso de Manabí había perdido 87.3 kha, equivalentes a una disminución del 6.8% de la cobertura arbórea desde el año 2000, y una disminución de la captura de carbono de 31.1Mt.

En cuanto a sus cualidades como sumidero según Saleem Khan (2019) se estima que una hectárea de cultivo de café con sombra de grandes árboles puede secuestrar de 70 a 80 toneladas de carbono por hectárea, en comparación con las 10 toneladas aproximadamente que almacena un café cultivado a pleno sol. El SAF con grandes árboles puede ser comparado con un bosque y en ese sentido los valores anteriores están en el rango de los resultados de la investigación de Salas Macías et al. (2017) donde determinaron que el carbono almacenado (biomasa aérea y carbono en suelos) en un bosque seco caducifolio y semicaducifolio tienen valores de 69,62 y 123,05 Mg de carbono /ha respectivamente.

En consecuencia y tomando los datos de (Vega Orozco et al., 2014) que estiman que un sistema regular donde abunde especies como Guamo (*Inga sp*.) y Laurel (*Cordia alliodora*) pueden almacenar aproximadamente 27,3 t /ha C, y con especies maderables 31,8 t/ha C, los valores que captan los SAF de la zona pueden variar, ya que según este mismo

autor el almacenamiento de carbono depende de la edad y densidad de plantas, fertilidad, tipo de suelo y de los factores climáticos de la zona. Lo anteriormente expuesto da relevancia a los SAF en la lucha para la reducción de gases efecto invernadero.

Otros efectos de la sombra en la producción de café

Villarreyna et al. (2016a) afirman que los árboles de sombra ayudan al incremento de materia orgánica en los suelos de los cafetales gracias a su hojarasca, contribuyendo de una manera positiva al reciclaje de nutrientes, favoreciendo el proceso de mineralización y nitrificación. Además, los árboles ayudan a que algunos nutrientes que se encuentran profundos sean más disponibles para los cafetos y así evitan la pérdida de nutrientes por lixiviación. Petit et al. (2015) encontró que en la capa de 0 a 20 cm bajo sombra los valores de P, Ca, Mg, MO y pH (>5) son mayores en relación con los cultivos sin cobertura arbórea, y un metal como el Al que en suelos ácidos afecta el crecimiento de las raíces, se encuentra en trazas.

Estudios como el de Davis et al. (2017) revelan que las especies frutales son un potencial económico en los agroecosistemas, siendo las más comunes en el cultivo de café *Mangifera indica, Blighia sapida, Musa sp, Syzygium samarangense, Persea americana y Citrus sp.* Aunque las especies varían, la mayoría de los cafetales están adaptados a un sistema de sombras con especies frutales o maderables, ya que su capacidad fotosintética soporta un nivel determinado de sombra para que no afecte su producción (Mariño, 2014), lo que le da especial ventaja a los cafetales adaptados perfectamente a las condiciones microclimáticas bajo sombra regulada en SAF (Hernández y Navada, 2018).

La variedad en las especies que lo conforman además de facilitar sombra al cultivo, mejoran las propiedades físicas y químicas del suelo, incrementan la diversidad biológica y protegen los suelos contra la erosión, lo que contribuye al mejoramiento de la calidad ambiental (Pérez y Suárez, 2011); sin embargo, esta sombra depende de la estructura y arquitectura del árbol, de la forma y del desarrollo de las copas, de las distancias de siembra, del número de especies y del manejo dado a los árboles, entre otros (Farfán, 2007). La sombra también influye sobre el equilibrio entre algunas enfermedades, plagas y sus

agentes de control biológico (Montagnini et al., 2015). Por todo lo anteriormente expuesto, este sistema es idóneo para mejorar los ingresos, ya sea por servicios ecosistémicos o por mejorar el rendimiento y/o la calidad del cultivo como tal (Vignola et al., 2015).

Entre las enfermedades más comunes y devastadoras sino se trata a tiempo se encuentra el Mal de Hilacha (*Pellicularia koleroga* Cook Van. Hoehnee.) y que según Villareyna et al. (2016) la incidencia no es superior al 4 % cuando se le da un manejo preventivo y adecuado. Pero a su vez es el mal de hilachas uno de los más severos cuando el SAF tiene una sombra diversificada entre 16 y 65% y no se le da buen mantenimiento, cuya incidencia también es favorecida por una alta humedad relativa (Duicela et al., 2002). El hongo causante de la enfermedad permanece inactivo durante la época seca del año, entrando en actividad durante el establecimiento de la época lluviosa, atacando hojas, ramas y frutos de café y causando grandes pérdidas productivas.

Aplicaciones informáticas utilizadas

Shade Motion.

El programa Shade Motion. Esta aplicación (ShadeMotion 5.1.41) calcula la cantidad de horas de sombra que se acumulan en cada punto de una parcela debido a la presencia de cualquier cantidad de árboles, con copas de distintas formas y tamaños y en cualquier lugar de la Tierra (Somarriba et al., 2020).

Kobo Toolbox

Este programa (Kobo Toolbox, 2019) es una aplicación informática desarrollada por Harvard Humanitarian Initiative para compilar, georeferenciar y representar en un mapa la información obtenida de los escenarios de investigación. Esta información es suministrada en forma de encuesta, almacenada en la nube y compartida por los miembros del equipo de investigación.

4. Materiales y Métodos

La zona de estudio se encuentra en dos cantones de la Provincia de Manabí; Santa Ana (en lo adelante identificada como finca Santa Ana) cuyas coordenadas son X 575463, Y 9855780 con una altura de 384 msnm, y en 24 de Mayo, Noboa (en lo adelante identificada como finca Noboa) cuyas coordenadas son X 566239, Y 9843583 con una altura de 250 msnm. Se utilizó una parcela de 2500m2 (50*50) en cada sitio de muestreo con una población de 781 cafetos de la variedad Sarchimor (*Coffea arabica*), con un marco de siembra de 1.6 x 2m. Dichas parcelas fueron establecidas por el proyecto de Reactivación de la Caficultura que prevé reactivar 70 mil hectáreas de café en Manabí.

4.1. Diseño de la Investigación.

Se desarrolló un experimento de campo para evaluar el efecto de la sombra arbórea sobre indicadores fenológicos (IF) considerados como variables dependientes para el pronóstico de cosecha de cafetos. En estos escenarios se identificaron como variables independientes el nivel de iluminación (I) medido en lux (lx) y la Finca (F), comparando las variables dependientes según un ANOVA factorial (I x F). Adicionalmente, se realizó un análisis de regresión simple de IF (y) sobre I (x), para complementar los resultados del ANOVA con los de un análisis de la variación continua de I.

4.2. Hipótesis

La sombra tiene una influencia directa en el comportamiento productivo del café.

4.3. Análisis de datos.

En las dos parcelas se registraron los siguientes datos:

Caracterización de la sombra arbórea

Durante el período de estudio (Santa Ana entre Enero y Marzo del 2021; Noboa entre Abril y Junio del 2021) se identificaron todos los árboles en cada parcela y se registraron en la aplicación Kobo Toolbox los siguientes indicadores:

1. Coordenadas de cada árbol
2. Especie
3. Diámetro a la altura del pecho (DAP)

4. Altura del fuste
5. Altura de la copa
6. Forma de la copa
7. Diámetro del área de sombra (Área basal)
8. Iluminación

Los registros del 1 al 7, constituyen el insumo que se utilizó para simular el comportamiento de la sombra, mediante el programa Shade Motion. El registro 8 (Iluminación -I), se midió con un luxómetro, al final del período experimental en cada parcela. Las mediciones se realizaron en cuatro cafetos en cada árbol, dos bajo sombra y dos fuera de sombra. Esta información fue agrupada en cuatro rangos de iluminación (I_1 :0-500, $I_{2:}$ 501-1000, I_3 :1001-1500 e $I_{4:}$ 1501-2000) que representaron una de las fuentes de variación en el experimento.

Indicadores fenológicos para el comportamiento del café

a) RT: Ramas Totales de cada uno de los 4 cafetos en cada árbol.

b) RPT: Ramas productivas totales de cada uno de los 4 cafetos en cada árbol.

d) NRP: Promedio de nudos por rama productiva de cada uno de los 4 cafetos en cada árbol.

e) NPRP: Promedio de nudos productivos por rama productiva de cada uno de los 4 arbustos (cafetos) en cada árbol.

f) FRP: Promedio de frutos (o flores) por rama productiva de cada uno de los 4 cafetos en cada árbol.

Temperatura y humedad del aire.

Durante el período experimental y en 3 puntos situados en la diagonal del área de estudios, se registraron la temperatura del aire en grados Celsius y la humedad relativa (Hr) en porciento a intervalos de 0.5h y durante el período experimental, Para ello se utilizaron 3

registradores portátiles digitales del tipo Data Logger (especificaciones técnicas), situados a una altura de 1 m por encima de la superficie del suelo.

4.4 Análisis Estadístico

El análisis estadístico se realizó con el software STATISTICA (2010) utilizando los resultados del modelo general del análisis de varianza factorial en cada uno de los IF. Cuando el efecto de las fuentes de variación (I, F e IxF) fue significativo, se realizó una prueba de comparación múltiple de Fisher.

Por otra parte, estos estudios se complementaron con un análisis de regresión simple tomando como variables dependientes los IF y como variable independiente la I.

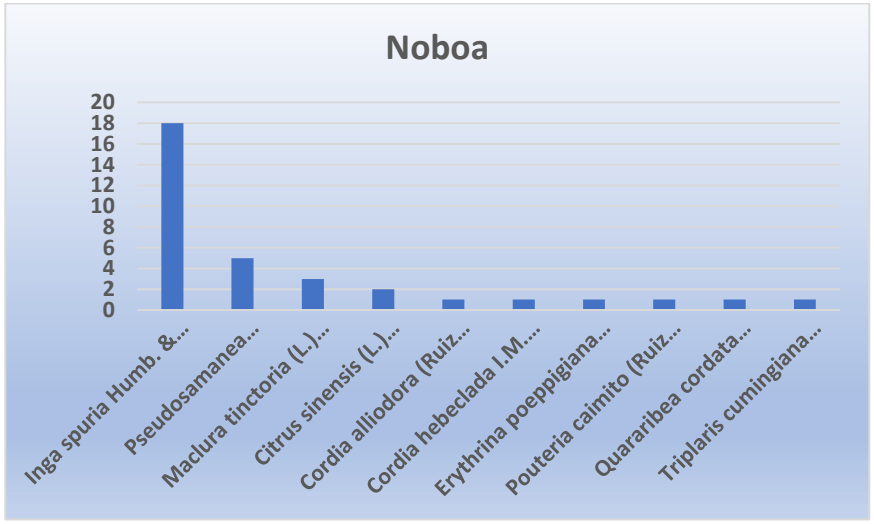
5. Resultados y Discusión

5.1 Inventario arbóreo

La riqueza del área de estudio fue de 11 especies en Noboa con su respectiva abundancia, representado por 36 individuos (Figura 1), mientras que en Santa Ana fue de 16 especies con su respectiva abundancia, representado en 48 individuos (Figura 2). Entre las especies frutales encontradas se coincidió con Davis et al. (2017) quienes mencionaron a los *Citrus sp*. como un grupo común en estos SAF, en este caso conformado por naranja (*Citrus sinencis*) y limón borroñoso (*Citrus jambhiri*). Por otra parte, Vega Orozco et al. (2014) refieren la presencia de árboles leñosos como el Guamo (*Inga sp*.) y Laurel (*Cordia alliodora*).

Figura 1

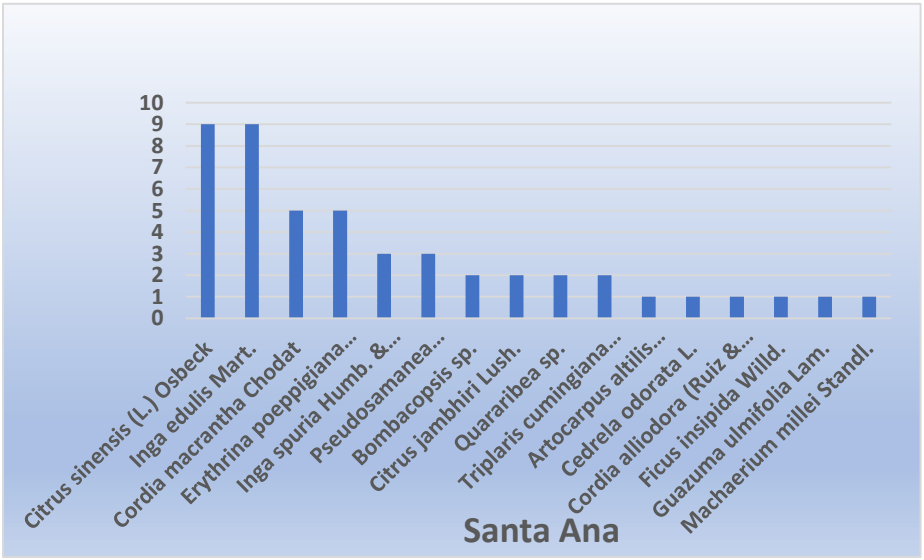
Riqueza forestal de la finca Noboa



En la Figura 1 se puede observar que existen 11 especies diferentes en la finca de Noboa, con un total de 36 árboles. La que tiene mayor abundancia es *Inga spuria* (Guavo de bejuco) y el *Pseudosamanea guachapele* (guachapelí) con 18 y 5 individuos respectivamente.

Figura 2

Riqueza forestal de la finca Santa Ana



En la Figura 2 se puede observar 16 especies en la finca de Santa Ana con un total de 48 árboles; entre las que tienen más abundancia están la *Citrus sinensis* (naranja) e *Inga edulis* (guaba de bejuco) con 9 individuos cada una.

5.2 Influencia de la temperatura y la humedad del aire

En la Figura 3 se representa la marcha diaria de la temperatura promedio en ambas fincas. Se puede observar un incremento a partir de la octava hora, llegando a un máximo de 27 °C entre las 13 y 15 horas, hasta mínimas de 21- 22 °C en la madrugada y primeras horas de la mañana.

Figura 3

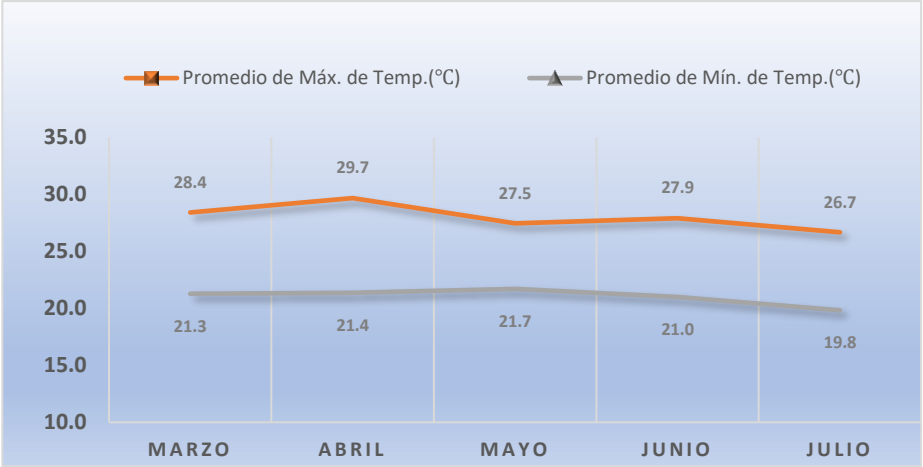
Marcha diaria de la temperatura promedio en ambas fincas.



La Figura 4 muestra los límites máximos y mínimos de la temperatura media en ambas fincas se alcanzaron en abril ($t_{máx}$ 29.7°C) y julio ($t_{mín}$ 19.8°C), lo que puede explicar la baja producción al sobrepasar los 24°C que recomienda Duicela et al., 2002.

Figura 4

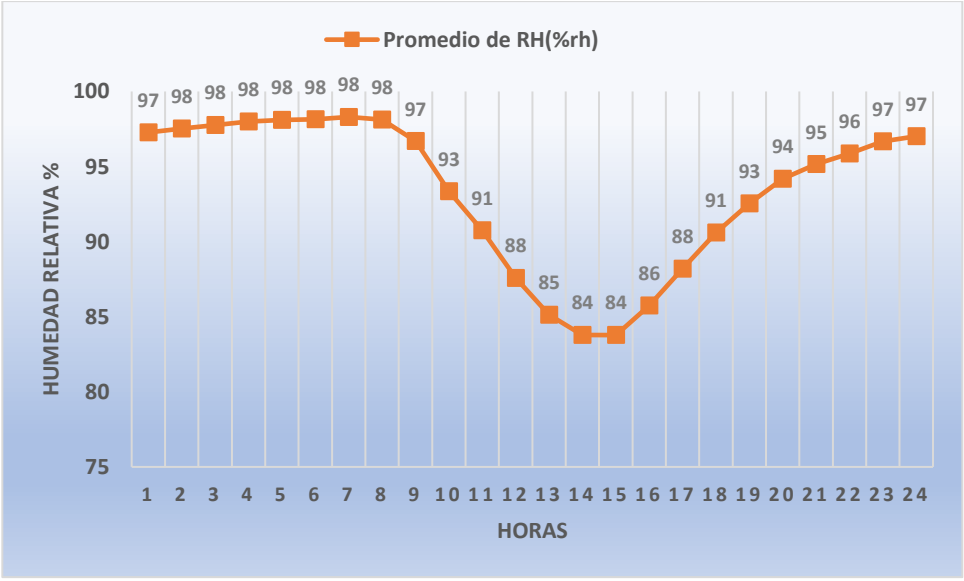
Marcha mensual de las máximas y mínimas medias.



En la Figura 5 puede observarse el promedio de la humedad relativa de ambas fincas, con el típico descenso en las horas con máxima temperatura, debido a la conocida relación inversa entre ambos indicadores (Tejeda et al., 2018).

Figura 5

Marcha diaria de la humedad relativa (%) en ambas fincas.



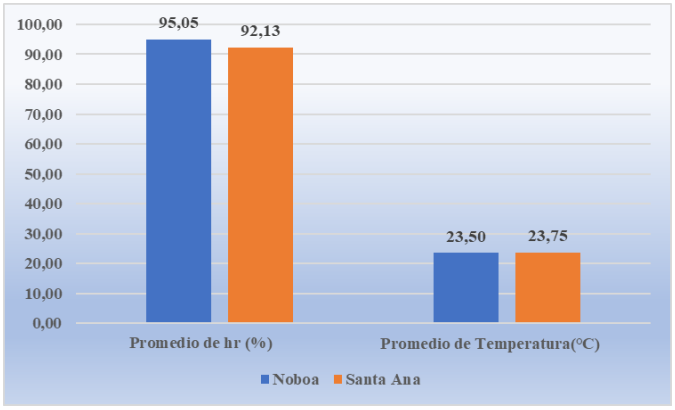
Según Duicela et al. (2002) la temperatura óptima en Manabí para el café esta entre 18 y 24°C, ya que < 18°C, provoca disminución de crecimiento vegetativo, y >24°C, limita la floración y fructificación, pero se acelera el crecimiento vegetativo. En cuanto a humedad relativa señalan estos autores que debe estar en un rango de 70 a 95% y según el Instituto investigaciones Agropecuarias (INIAP, 1993) en su manual de cultivo de café manifiesta que las temperaturas altas inhiben el crecimiento, ya que a los 24°C se empieza a reducir la fotosíntesis y a los 34°C es exigua. De forma general, las altas temperaturas favorecen el crecimiento de la planta pero cuando la temperatura es superior a 30°C en el día y 24 °C en la noche, las flores sufren el fenómeno de "flores estrella" que generalmente terminan en aborto floral, lo que disminuye la fructificación.

5.2.1. Influencia de la temperatura y la humedad del aire por finca

Puede observarse en la Figura 6 una notable homogeneidad en el régimen termohígrico, con un promedio de 23.50 y 23.75°C y 95.05 y 92.13% de temperatura y humedad relativa promedio, en Noboa y Santa Ana, respectivamente. La temperatura media coincide con la reportada por Duicela et al. (2002), entre los 200 y 500msnm, estimadas en un rango de 24,71 - 23,75°C. Estos autores explican este comportamiento por el conocido gradiente vertical de temperatura con la altura, concluyendo que en Manabí la temperatura media puede oscilar de 22 a 24°C. La Hr está en el límite de lo recomendado por estos mismos autores, lo que puede ser la causa de la aparición de enfermedades fúngicas como el Mal de Hilacha

Figura 6

Temperatura y humedad relativa promedio en cada finca.

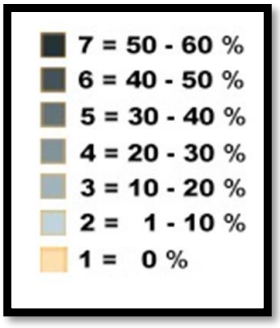


5.3 Influencia de la Iluminación (I) y la finca (F)

Los resultados con Shade Motion mostraron una alta variabilidad en el porciento de sombra, identificada en mapas digitalizados en los que la tonalidad de grises en cada pixel se corresponde con un porciento de sombra diferente desde 0 hasta 60% (Figuras 7, 8 y 9). En la Figura 7 se ilustra la leyenda con los 7 niveles de sombra identificados por el Shade Motion, que se representan por diferentes tonalidades de gris.

Figura 7

Representación del porcentaje de sombra según su tonalidad.



En las Figuras 8 y 9, los puntos de color verde señalan la georreferenciación de los árboles, y los porcentajes de sombra estimados por la aplicación como una función de las medidas en cada árbol. Por simple observación se aprecia que en la finca Noboa el porciento de sombra es menor que en Santa Ana.

Figura 8

Mapa digitalizado con tonalidades de grises de la finca Noboa.

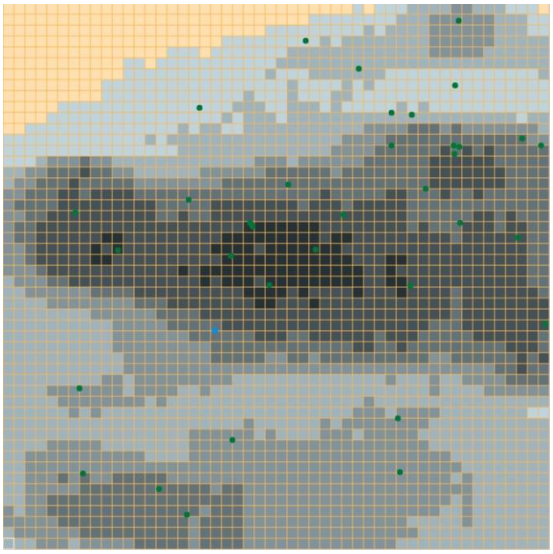
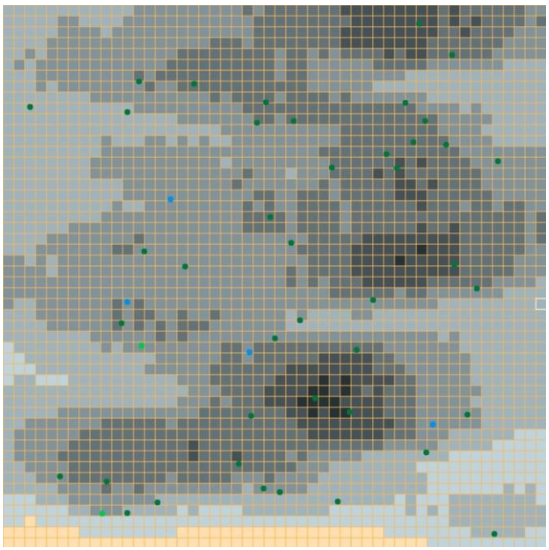


Figura 9

Mapa digitalizado con tonalidades de gris que indican el porciento de sombra de la finca Santa Ana.



Este resultado se relaciona con la mejor distribución de la sombra en Noboa, explicada por la notable asimetría en la distribución espacial de la cubierta arbórea en ambas fincas, pero ante todo en Santa Ana. Esto se evidencia en el coeficiente de variación del número de árboles por zona en cada finca (Figuras 10 y 11), al observarse una mayor dispersión en Santa Ana (99.69%) que en Noboa (62.36%).

Figura 10

Niveles de sombra y número de árboles que lo conforman en la finca Santa Ana (CV=99.69%).

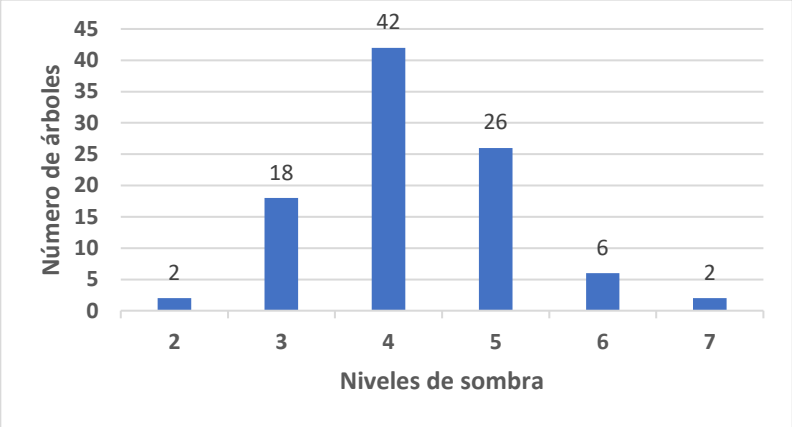
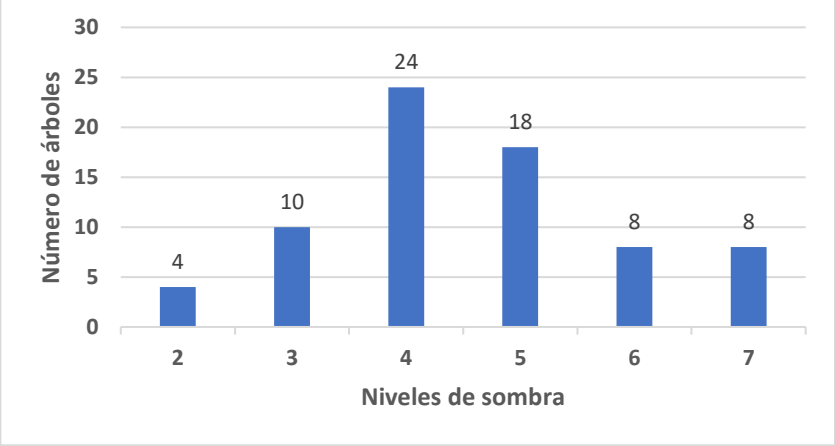


Figura 11

*Niveles de sombra y número de árboles en la finca Noboa (CV=*62.36%)

.



Esta notable asimetría en la cantidad de árboles que conforman los diferentes niveles de sombra sugiere la conveniencia de podas para su mejor regulación en los niveles 2, 3 y 4, ante todo en Santa Ana.

Las anteriores razones y el error experimental asociado a la medición de las variables utilizadas en la simulación del porciento de sombra, sugirieron la conveniencia de utilizar mediciones de la iluminación en lux (lx) para definir con más precisión la sombra como

fuente de variación. Es oportuno recordar que estas mediciones se realizaron en 4 cafetos por árbol, 2 bajo sombra y 2 fuera de ella. Como ya fuera descrito, los niveles de iluminación (I) tomados como fuente de variación para la evaluación de indicadores cuantitativos de la producción futura, fluctuaron desde 0 a 2000 lux, categorizados en cuatro grupos que constituyen una de las fuentes de variación en nuestro experimento.

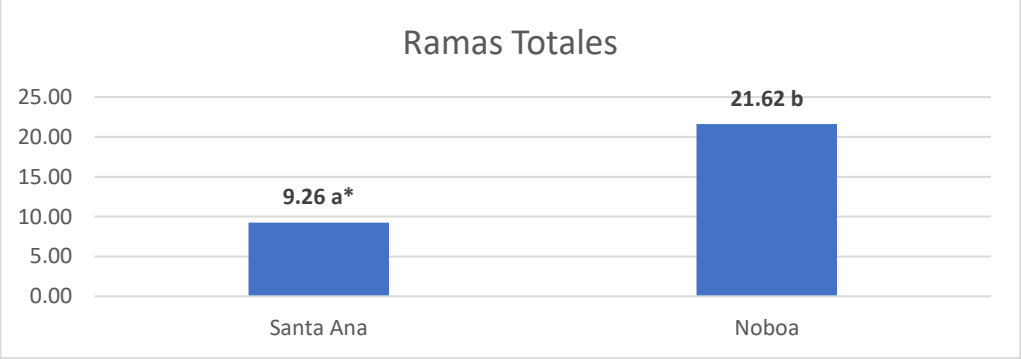
Los resultados del análisis de varianza factorial F x I mostraron efectos significativos de I y F sobre algunos IF, en tanto la interacción I x F no fue significativa en ninguno de los indicadores. Con este precedente, se informan los efectos aislados de I y de F.

5.3.1 Efectos de Finca (F)

La comparación de las medias de RT utilizando una prueba de comparación múltiple partiendo de la mínima diferencia significativa, permitió identificar grupos estadísticamente diferentes ($p < 0,05$) (Figura 12). Efectos análogos fueron encontrados para las RPT (Figura 13) y el promedio NRP (Figura 14), siempre favorables a Noboa, en correspondencia con la mayor iluminación en esta última finca (Figura 15).

Figura 12

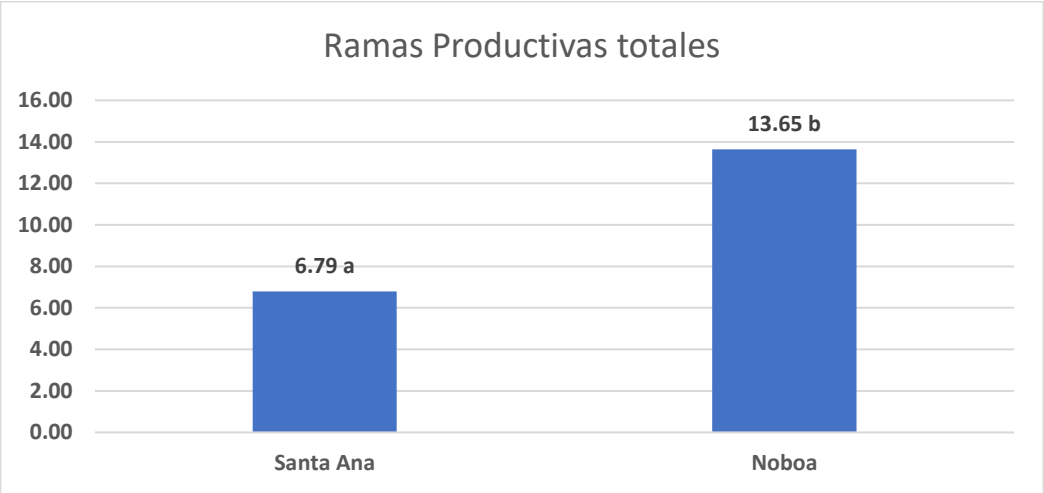
Ramas totales en cada finca.



Nota: * Medias con letras diferentes difieren significativamente ($p<0.05$)

Figura 13

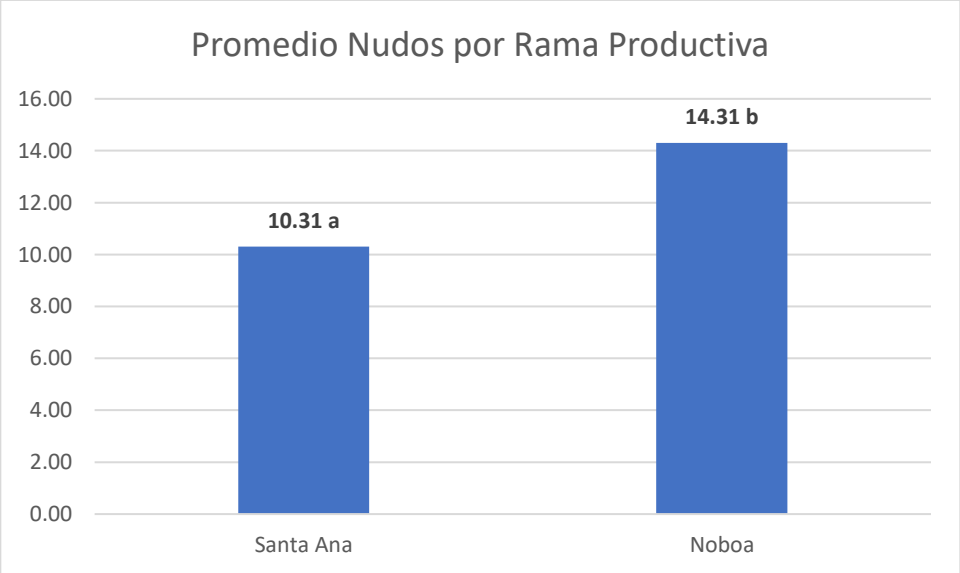
Ramas productivas totales en cada finca.



Nota: * Medias con letras diferentes difieren significativamente ($p<0.05$)

Figura 14

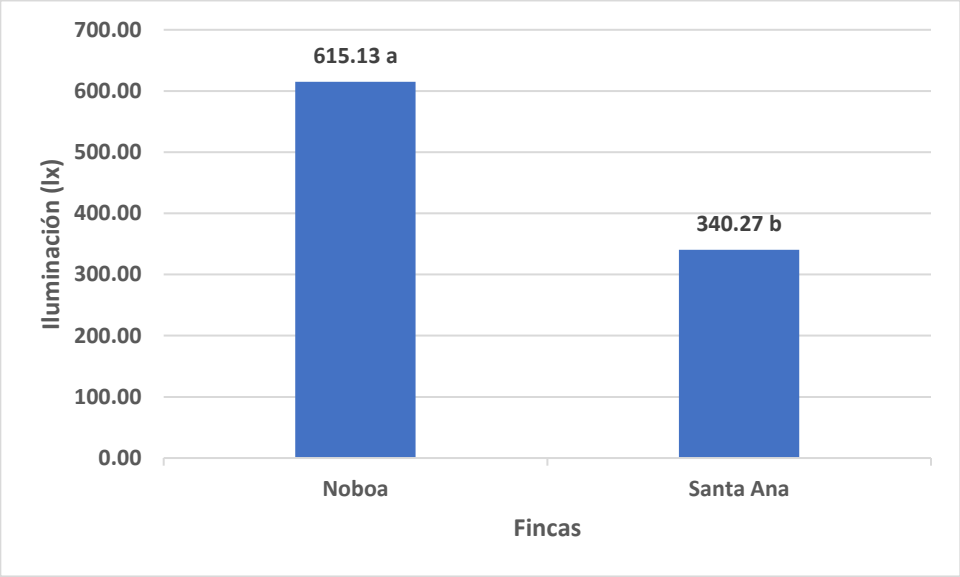
Promedio de nudos por rama productiva en cada finca.



Nota: * Medias con letras diferentes difieren significativamente ($p<0.05$)

Figura 15

Promedio de iluminación en cada finca.



Nota: * Medias con letras diferentes difieren significativamente ($p<0.05$)

Una explicación de este comportamiento pudiera relacionarse con una distribución más homogénea de los árboles en Noboa, en menor cantidad que en Santa Ana pero con áreas de sombra más densa. Sin embargo, los valores promedio de la iluminación en lux son mayores en Noboa, también debido a una mejor regulación de la sombra ejercida a través de la poda. Aparentemente, se presenta una relación directa entre I vs RT, RPT y NRP, lo cual es congruente con los hallazgos de Zapata et al. (2017), quienes concluyen que niveles de sombra superiores a 40% interfieren la capacidad fotosintética de los cafetos, y con ello su capacidad para captar CO_2 atmosférico, incluso en ambientes húmedos (Mariño, 2014), lo que pudiera explicar los efectos descritos.

Lo anterior coincide con las conclusiones de otros autores. Así, Pérez y Suárez (2011), trabajando en en SAF cafetaleros en Honduras, hallaron que la producción de grano está explicada mayoritariamente (58%) por el efecto de la sombra, y concluyen que la luz solar aumenta la producción de granos. Por otra parte, Villareyna et al. (2016b) establecieron un posible nexo fisiológico entre la producción cuantitativa de granos y la luz, al demostrar que la fotosíntesis en SAF cafetaleros puede ser ligeramente inferior a los cultivos a pleno sol. También Montagnini et al. (2015) realizaron importantes contribuciones a la comprensión de

las influencias de la sombra en el rendimiento del café, al afirmar que la disminución de la tasa fotosintética en ambientes más sombreados, determina la reducción del número de ramas plagiotrópicas (en nuestra investigación identificadas con RT y RPT) y con ello del número de flores y de nudos productivos para el año siguiente.

López-Bravo et al. 2012), lo que conduce a un número inferior de nudos fructíferos en condiciones

sombreadas. Lo anterior es influenciado por un menor crecimiento de las bandolas antes de la floración

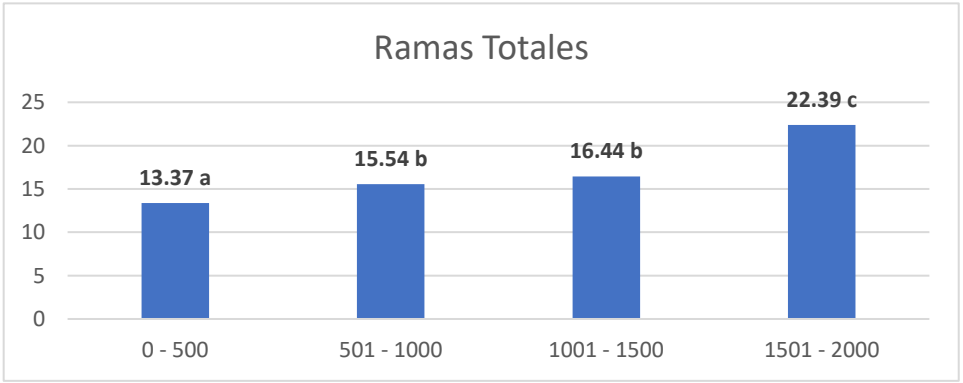
(Rapidel et al. 2015).

5.3.2 Efecto de la iluminación (I)

Los efectos significativos de la iluminación ($p<0.05$) se evidenciaron sobre las RT (Figura 16) y RPT (Figura 17), comprobándose una relación directa entre ambas variables a partir del primer grupo (I_1: 500 lx), acentuándose hasta un máximo en el cuarto grupo (I_4: 1501 – 2000 lx).

Figura 16

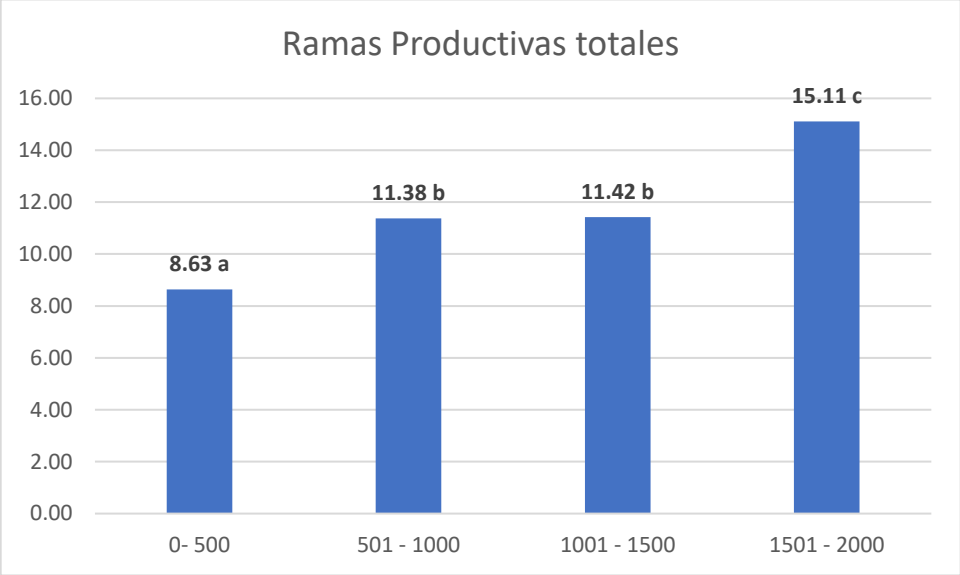
Ramas totales según nivel de iluminación.



Nota: * Medias con letras diferentes difieren significativamente ($p<0.05$)

Figura 17

Ramas productivas totales según nivel de iluminación.



Nota: * Medias con letras diferentes difieren significativamente ($p<0.05$)

Este comportamiento es consistente con hallazgos que relacionan directamente la iluminación y otros factores como agua y sombra con el desarrollo vegetativo (Mariño, 2014), ya que la sombra, aunque disminuye la transpiración del café, afecta la fotosíntesis neta cuando es superior al 40% (Zapata et al., 2017).

Para complementar los resultados del análisis de varianza factorial, se decidió incluir un análisis de regresión lineal simple para establecer la relación funcional entre la variación continua de la iluminación y los parámetros productivos medidos en los cafetos.

En las Figuras 18 y 19 se ilustran las tendencias estadísticamente significativas ($p<0.05$) al incremento de RT y RPT como una función lineal de la variación de la iluminación I y en la Figura 19 la relación significativa ($p<0.05$) de las RP como una función directa de I. Sin embargo, la iluminación no influyó significativamente ($p=0.0747$) en la cantidad de nudos por rama productiva (NRP), como puede observarse en la Figura 20.

Figura 18

Regresión lineal de Ramas Totales vs Iluminación.

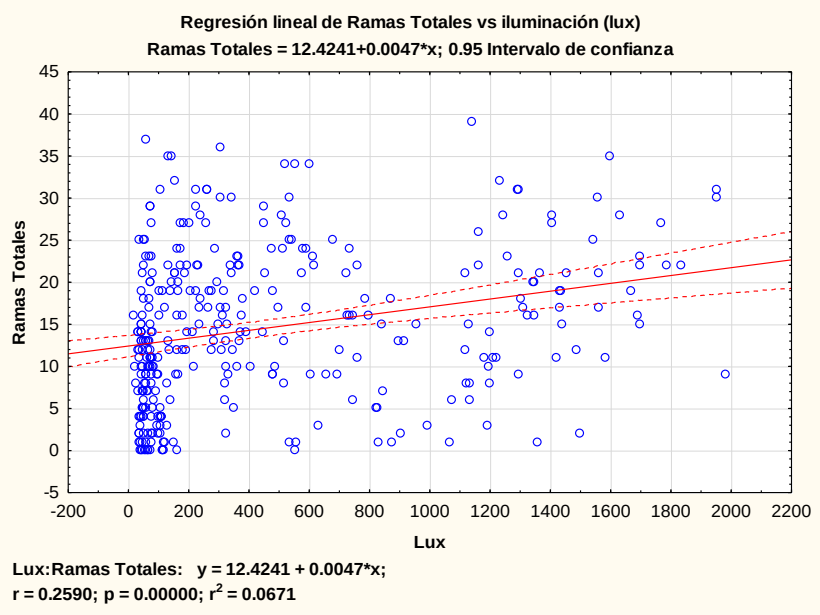


Figura 19

Regresión lineal de Ramas productivas Totales vs Iluminación

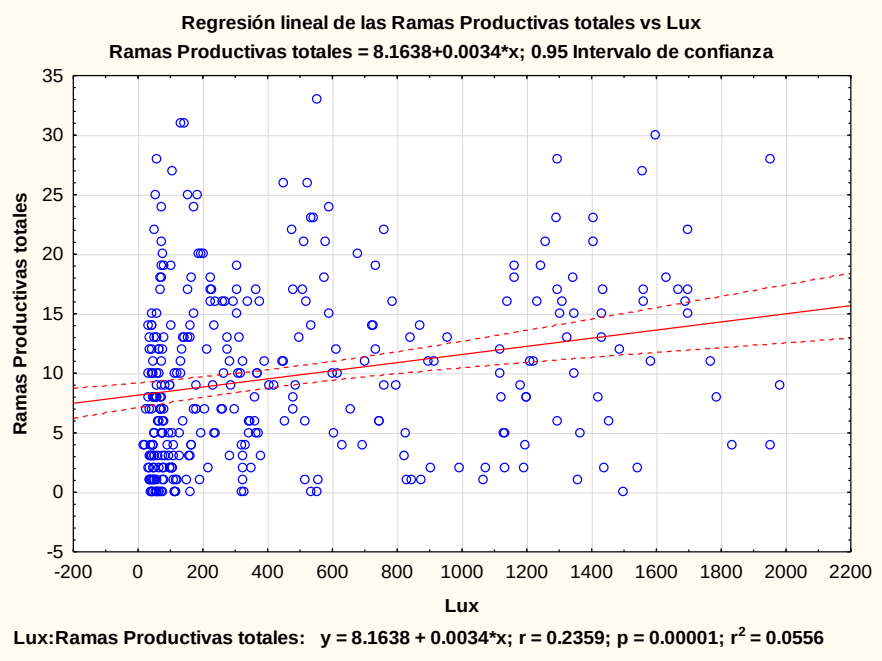
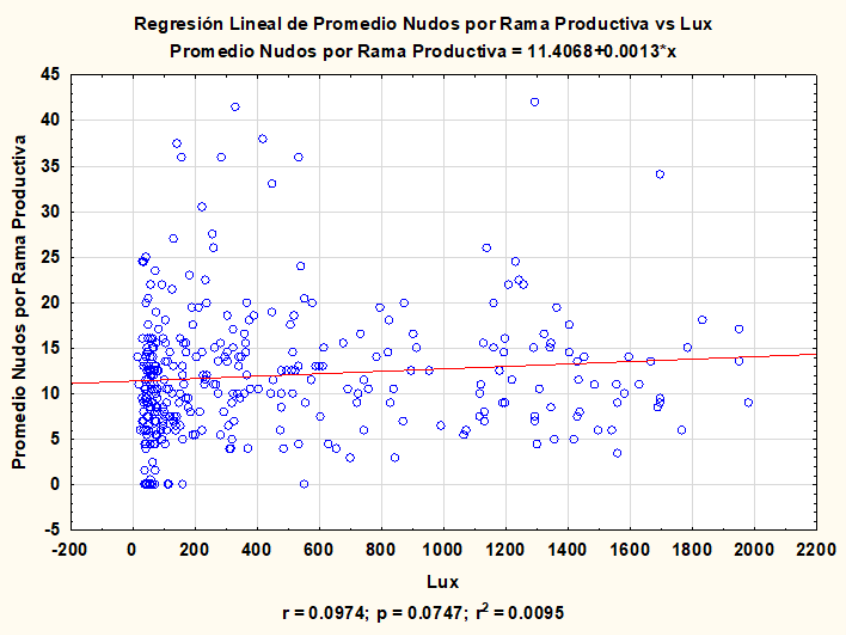


Figura 20

Regresión lineal de Promedio de Nudos x Ramas Productivas Totales vs Iluminación



6. Conclusiones

6.1 Las especies que se encontraron fueron: *Bombacopsis sp., Cassia altilis, Cedrela odorata, Citrus jambhiri, Citrus sinensis, Cordia alliodora, Cordia heblecada, Cordia macracantha, Erytrina poeppigiana, Ficus insípida, Guazuma ulmifolia, Inga edulis, Inga spuria, Machaeriun millei, Maclura tinctoria, Phytilephas aequatorialis, Pouteria cainito, pseudosamanea guachapele, Quararibea cordata, Quararibea herndesiis y Triplaris cumingiana.*

6.2 La precisión de la estimación del porciento de sombra con Shade Motion estuvo afectada por la variabilidad en la abundancia de especies según categoría y por el error experimental intrínseco del muestreo.

6.3 La sombra arbórea en SAF influye en el desarrollo vegetativo de los cafetos, pero no en su floración y fructificación.

6.4 Aunque no se probó científicamente se observó que la incidencia de enfermedades como el Mal de Hilacha fue más severa en el SAF con más sombra (Santa Ana).

7. Recomendaciones

7.2.1. Realizar estudios que evalúen las especies más indicadas, incluyendo como criterio el niel de sombra que proporciona.

7.2.2. Los cafetos y los árboles necesitan un buen manejo para que la sombra influya positivamente en la producción.

7.2.3. Evaluar los servicios ecosistémicos de los SAF, ante todo su contribución a la captura de carbono.

7.2.4. Es necesario realizar el estudio donde se incluya la cosecha y los indicadores cualitativos del grano incluyendo sus propiedades organolépticas.

8. Referencias bibliográficas

Azembouh, T., Nyong, A., y Bernard, K. (2021). Caracterización de los sistemas agroforestales y su eficacia en la mejora de la fertilidad del suelo en la región suroeste de Camerún. Investigación actual en sostenibilidad ambiental. *El Sevier*, (3). https://doi.org/10.1016/j.crsust.2020.100024

Bouroncle, C.; Imbach, P.; Laderach, P.; Rodríguez, B.; Medellín, C.; Fung, E. (2014). La agricultura de Nicaragua y el cambio climático: ¿Dónde están las prioridades para la adaptación? CCAFS/CGIAR. P.8

Buenaventura, C. y Castaño, J. (2002). Influencia de la altitud en la calidad de la bebida de muestras de café procedentes del ecotopo 206b en Colombia. Cenicafé 53 (2), 119-131. https://www.cenicafe.org/es/publications/arc053(02)119-131.pdf

Davis, H., Rice, R., Rockwood, L., Wood, T., & Marra, P. (2017). The economic potential of fruit trees as shade in blue mountain coffee agroecosystems of the Yallahs River watershed, Jamaica W.I. *Agroforestry Systems*, 581–589. https://doi.org/10.1007/s10457-017-0152-z

Delgado, G. y Pérez, P. (2011). Evaluación de la conversión a café orgánico usando la metodología de opciones reales. Contaduría y administración, 58 (1),87-115. https://www.elsevier.es/es-revista-contaduria-administracion-87-pdf-S0186104213711999

Duicela, L., Corral, R., & Farfán, D. (2002). El Clima en las zonas de producción de café arábigo del Ecuador. *Cenecafé*, 70.

Duicela – Guambi, L.A. (2017). Café robusta: producción y poscosecha. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. Guayaquil, Ecuador: Humus.

Ekos. (2019). *Top 20 principales productores de café en el mundo*. Negocio y Economía. Consultado el 4 de marzo del 2021.

Estivariz, J. y Muschler, R. (1998). Efecto de la sombra sobre el vigor y producción de *Coffea arabica* var. Caturra después de una poda total del café en Turrialba, CoRica. Semantic Scholar. https://www.semanticscholar.org/paper/Efecto-de-la-sombra-

sobre-el-vigor-y-producci%C3%B3n-de-Est%C3%ADvariz Muschler/487ae2e5a842e465050a2e310f57953ffff53444

FAOSTAR. (2019). *Cultivos*. Consultado el 6 de marzo del 2021. http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC

Farfán, V. (2007). Producción de café en sistemas agroforestales. In: Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná, Cenicafé-FNC, 2007. p. 161-200.

Farfán Valencia, F., & Jaramillo Robledo, Á. (2009). Sombrío Para El Cultivo Del Café Según La Nubusosidad De La Región. *Avances Técnicos Cenicafé*, *379*, 8. https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0379.pdf

Gomes, L. C., Bianchi, F. J. J. A., Cardoso, I. M., Fernandes, R. B. A., Filho, E. I. F., & Schulte, R. P. O. (2020). Agroforestry systems can mitigate the impacts of climate change on coffee production: A spatially explicit assessment in Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *294*(January), 106858. https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106858

González – González, M. y Serna – Giraldo, C.A. (2018). Servicios ecosistémicos potenciales en el sector cafetero colombiano. *Cenicafé 69*(2), 35-46. https://www.cenicafe.org/es/publications/arc069%2802%29035-046.pdf

Guerrero, F. (2013). Proceso organizativo del campesinado en el sur de Manabí y desarrollo rural. Íconos, 45, pp. 127-140. DOI:10.17141/iconos.45.2013.296

Instituto nacional auntónomo de investigaciones agropecuarias. (1993). Manual del cultivo de café. Estación experimental Pichilingue. pp.29

Kobo Toolbox. (2019). Manual Kobo Toolbox. Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA) in West and Central Africa. September 2019.

Lee, S., Tewari R., Hahn, E., Paek, K. (2007). Photon flux density and light quality induce changes in growth, stomatal development, photosynthesis and transpiration of Withania Somnifera (L.) Dunal. Plantlets. Plant Cell Tiss Organ Cult 90:141–151.

Lizarzaburo, G. (2020, 26 de febrero). *Los precios suben, pero Ecuador no tiene café*. Expreso. https://www.expreso.ec/actualidad/economia/precios-suben-ecuador-cafe-5842.html

Mariño, Y. A. (2014). Respuesta fotosintética de Coffea arabica L. A diferentes niveles de

luz y disponibilidad hídrica. *Acta Agronomica*, *63*(2), 128–135. https://doi.org/10.15446/acag.v63n2.38454

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2019). *Sistema de información pública agropecuaria: Café*. http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cafe/rendimiento-del-cafe-ecuador

Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., y Eibl, B. (2015). Efectos ecológicos y productivos del asocio de árboles de sombra con café en sistemas agroforestales. In Sistemas Agroforestales. Funciones Productivas, socioeconómicas y ambientales.

Muschler, RG. (2001). La sombra mejora la calidad del café en una zona cafetera subóptima de Costa Rica. *Sistemas agroforestales 51*,131-139. https://doi.org/10.1023/A:1010603320653

Ovalle, O., Läderach, P., Bunn, C., Obersteiner, M. y Schroth, G. (2015). Projected Shifts in Coffea arabica Suitability among Major Global Producing Regions Due to Climate Change. PLOS ONE 10(4). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124155

Pérez Camargo, L. y Suárez Campos, L. (2011). *Evaluación del efecto sombra en laproducción de café –Coffea arabica L. - dentro de un sistema agroforestal tradicional con árboles en Las Minas, El Paraíso,Honduras*.[Tesis de licenciatura, Carrera de desarrollo socioeconomico y ambiente Evaluación, Zamorano-Honduras]. 1library,3–29. https://1library.co/document/q2npdgrq-evaluacion-produccion-coffea-agroforestal-tradicional-arboles-paraiso-honduras.html

Petit, J., Uribe, G., & Márquez, C. (2015). Efecto De La Sombra Sobre Contenidos Nutrimentales En Cultivo De Café De Tres (3) Localidades Del Estado Merida, Venezuela. *Researchgate*, *January 2007*, 1–5.

Pierre, Syvain. (1965*). Informe sobre la producción de café en el Ecuador y recomendaciones para aumentar las cosechas y mejorar la calidad*. (Informe n° 53). IICA. https://books.google.com.ec/books?id=N5cgAQAAIAAJ&printsec=frontcover&dq=cafe+en+ecuador&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=cafe%20en%20ecuador&f=false

Ponce Vaca, L. A., Acuña Velásquez, I., Proaño Ponce, P. (2018). El sistema agroforestal cafetalero. Su importancia para la seguridad agroalimentaria y nutricional en Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, *6*(1), 116–129. http://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/300

Portilla Farfán, F. (2018). *Agroclimatología del Ecuador* [online]. Editorial Abya-Yala, 645. https://doi.org/10.7476/9789978104927

Robles, L. (2015). *Análisis teórico de la industria del café en ecuador y su relación con el cambio en la matriz productiva* [tesis de pregrado, Universidad de Especialidades Espíritu Santo]. Repositorio digital de la UEES. http://repositorio.uees.edu.ec/123456789/1479

Salas Macías, C. A., Alegre Orihuela, J. C., & Iglesias Abad, S. (2017). Estimation of above-ground live biomass and carbon stocks in different plant formations and in the soil of dry forests of the Ecuadorian coast. *Food and Energy Security*, *6*(4), 1–7. https://doi.org/10.1002/fes3.115

Saleem Khan, A. (2019). Coffee, Climate and Biodiversity: Understanding the Carbon Stocks of the Shade Coffee Production System of India. *Climate Change Management, December 2018*, 113–134. https://doi.org/10.1007/978-3-319-98681-4_

Santistevan Méndez, M., Julca Otiniano, A., Borjas Ventura, R., & Tuesta Hidalgo, O. (2014). Caracterización De Fincas Cafetaleras En La Localidad De Jipijapa (Manabí, Ecuador). *Ecología Aplicada*, *13*(1–2), 187. https://doi.org/10.21704/rea.v13i1-2.469

Somarriba, E., Zamora, R., Barrantes, J., Malek, M., Vargas, E., Sinclair, F. y Quesada, F. (2020). ShadeMotion: el análisis de patronesd e sombra de árboles. Tutorial/ Eduardo somarriba…[et al.].- 1ra ed.- Tirrialba, C.R. : CATIE, 2020. 50p. – (Serie técnica. Manual técnico / CATIE;145)

Suárez, J., Rodríguez, E., Humprey & Duran, E. (2014). Efecto de las condiciones de cultivo, las características químicas del suelo y el manejo de grano en los atributos sensoriales de café (Coffea arabica L.) en taza. *Ecofisiología, Metabolismo de Cultivos,*

Tecnología, Producción y Fisiología de Semillas. http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v64n4/v64n4a09.pdf

Suicela- Guambi, L.A., Farfán -Talledo, D. S. y García- Ávila, E. L. (2016). Calidad organoléptica del café (Coffea arabica L.) en las zonas centro y sur de la provincia de Manabí, Ecuador. *Dialnet, 244*, 15-34. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=56748744A1179DD86AA4DE3C68E213ACEF4A958?sequence=1

Tejeda, A., Méndez, I., Rodríguez, N. y Tejeda, E. (2018). *La humedad en atmósfera: Bases físicas, instrumentos y aplicaciones*. Universidad de Colima. http://ww.ucol.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/La-humedad-en-la-atmosfera_466.pdf

Tsufac, A. R., Awazi, N. P., & Yerima, B. P. K. (2021). Characterization of agroforestry systems and their effectiveness in soil fertility enhancement in the south-west region of Cameroon. *Current Research in Environmental Sustainability*, *3*, 100024. https://doi.org/10.1016/j.crsust.2020.100024

Vega Orozco, G., Ordoñez Espinosa, C. M., Suarez Salazar, J. C., & López Pantoja, C. F. (2014). Almacenamiento de carbono en arreglos agroforestales asociados con café (*Coffea arabica*) en el sur de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, *5*(1), 213. https://doi.org/10.22490/21456453.95

Vignola, R., Harvey, C.A., Bautista-Solis, P., Avelino, J., Rapidel, B., Donatti, C. y Martinez, R. (2015). Ecosystem-based adaptation for smallholder farmers: Definitions, opportunities and constraints. *Agriculture, Ecosystems & Environment 211*, 126-132. https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.05.013

Villarreyna Acuña, R., Cerda, R., y Avelino, J. (2016a). Efecto de los árboles de sombra sobre el rendimiento de los cafetos, basado en perfiles de daño. *Cirad, October*, 1–32. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27058.61124

Villareyna- Acuña, R., Van den Meersche, K., Rapidel, B. y Avelino, J. (2016b). *Efecto de los árboles de sombra sobre el suelo, en sistemas agroforestales con café, incluyendo la fenología y fisiología de los cafetos*. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30414.05441

Zapata, P., Andrade, H. y Nieto, Z. (2017). Comportamiento ecofisiológico del cafeto (*Coffea arabica* L.) cv. Castillo en sistemas agroforestales de Tibacuy, Cundinamarca. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica 20(1)*, 61-70. https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n1.2017

Anexos

Anexo 1. Ubicación de Data Loger en la zona de estudio.



Anexo 2. Toma de datos para la encuesta.



Anexo 3. Afectaciones en el desarrollo vegetativo de los cafetos



Anexo 4. Arbusto de café sano y muy cargado del borde de la parcela que recibía sol en la mañana en la finca Santa Ana.



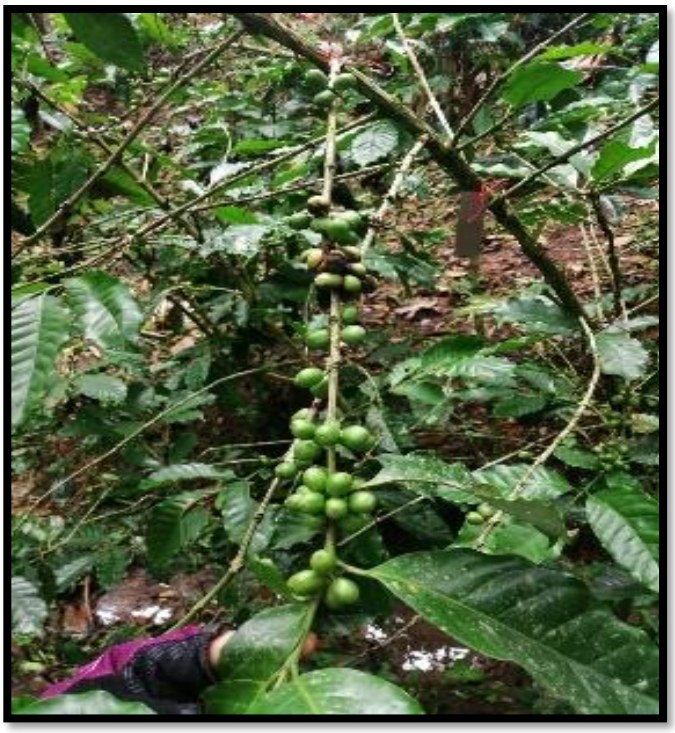
Anexo 5. Severidad del daño en su etapa inicial, como en una planta frondosa sus hojas se van secando en la finca Santa Ana



Anexo 6. Cafetos con sus ramas productivas deshojadas



Anexo 7. Rama productiva cuyos frutos fueron poco afectados



Anexo 8. Cafeto totalmente descubierto en su tercio medio y bajo, consecuencia del mal de hilacha



Anexo 9. Daño en el fruto después de haber tratado la enfermedad y la planta haberse revestido nuevamente en la finca Santa Ana



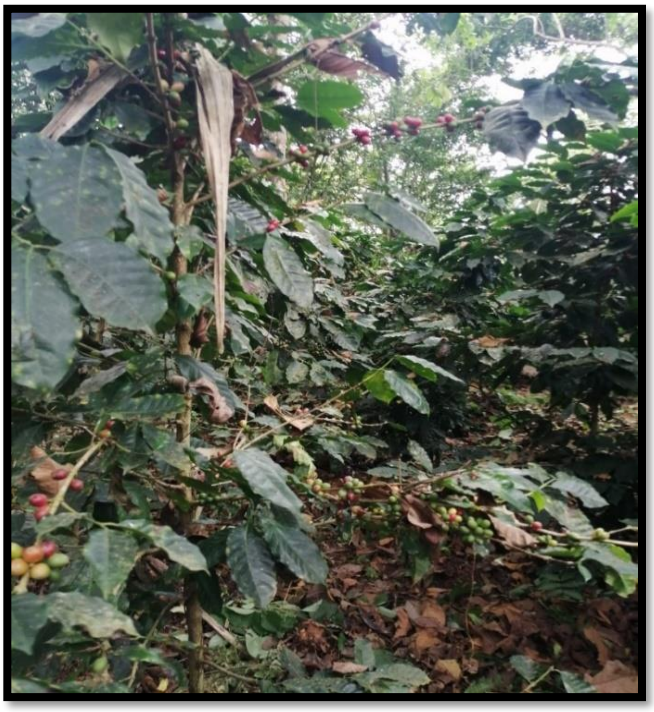
Anexo 10. Frutos afectados por el mal de hilacha y abortados en la finca Santa Ana



Anexo 11. Momificación de frutos por el mal de hilacha en Santa Ana



Anexo 12. plantas con una severidad leve del mal de hilacha, por un control oportuno.



Anexo 13. Medición de la Iluminación con el luxómetro



Anexo 14. Medición del DAP con cinta métrica



Anexo 15. Identificación de los cafetos



Anexo 16. Trabajo de campo



Anexo 17. Cafeto sano con ramas cargadas de frutos



Anexo 18. Medición de la copa del árbol

