

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ambiente y Desarrollo
Ingeniería en Ambiente y Desarrollo



**Efecto de la sombra en la conservación de humedad de suelo y la
productividad de café en el sistema agroforestal de la finca Santa Teresa, El
Paraíso, Honduras**

Estudiante

Emely Alessandra Cerrato Dubon

Asesores

Josué Aníbal León Carvajal, Mtr.

José Fernando Tercero Iglesias, M.Sc.

Moisés Enrique Castellanos Oseguera, Mtr.

Honduras, agosto 2022

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA MARGARITA MAIER

Vicepresidenta y Decana Académica

ERIKA TENORIO MONCADA

Directora Departamento Académico

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Agradecimientos

Se agradece al propietario de la finca por permitirme realizar la investigación en ella y por todo su apoyo, al señor Marvin Rodríguez por poner a la disposición su tiempo para la recolección de datos.

Contenido

Agradecimientos	3
Índice de Cuadros	6
Índice de Figuras	7
Índice de Anexos	8
Resumen	9
Abstract	10
Introducción.....	11
Materiales y Métodos	17
Descripción del Sitio de Estudio	17
Diseño del Estudio	18
Recolección y Registro de Datos	18
Caracterización del sistema agroforestal de café bajo sombra en la finca Santa Teresa	20
Entrevista en Profundidad y Observación Participante.....	20
Transectos para selección de parcelas.....	20
Tipo de Sombra y Humedad en el Suelo	21
Evaluación de la Productividad	22
Tipo de Sombra y Productividad de Café	23
Análisis de Datos	24
Resultados y Discusión.....	25
Caracterización del Sistema Agroforestal Bajo Sombra en la Finca Santa Teresa	25
Tipo de Sombra y Humedad de Suelo	27
Tipo de Sombra y Productividad de Café	30
Conclusiones	33
Recomendaciones.....	34

Referencias	35
-------------------	----

Anexos	38
--------------	----

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Fertilizantes químicos utilizados.....	26
Cuadro 2 Densidad de Árboles/Ha en el sistema agroforestal.....	27
Cuadro 3 Descripción del suelo dentro del sistema agroforestal.....	27
Cuadro 4 Valores promedios de retención de humedad (%) en los diferentes tratamientos	30
Cuadro 5 Crecimiento vegetativo por tratamiento	30

Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación del sistema agroforestal Finca Santa Teresa	17
Figura 2 Esquema de las unidades experimentales.....	18
Figura 3 Ubicación de las parcelas (tratamientos) evaluados	19
Figura 4 Ubicación de las subparcelas.....	23
Figura 5 Relación entre humedad y precipitación en el sistema agroforestal.....	29
Figura 6 Producción en el sistema agroforestal de café bajo cuatro diferentes tipos de sombra	32

Índice de Anexos

Anexo A Entrevista aplicada al propietario de la finca.....	38
Anexo B Entrevista aplicada al responsable de la finca.....	39
Anexo C <i>Calendarización humedad de suelo</i>	40
Anexo D Calendarización pluviómetro	41
Anexo E Calendarización Cosecha de Café	42

Resumen

La agricultura sostenible es clave para la producción de alimentos a mediano y largo plazo a nivel mundial. La agroforestería influye en la reducción de la erosión, aumento la humedad del suelo y diversificación biológica de los sistemas productivos. Es por ello que, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de los diferentes tipos de sombra en la humedad del suelo y la productividad de café en el sistema agroforestal de la finca Santa Teresa, El Paraíso, Honduras. Para el estudio, se utilizó una metodología tipo mixta. La sección cualitativa constó de una entrevista en profundidad para conocer la historia, y caracterización de la finca. La sección cuantitativa constó en medir y recolectar datos de humedad en los diferentes tratamientos (sombra con *Inga edulis*, mixta al 45% y 65% y de plátano) en la temporada húmeda y seca en los meses comprendidos de enero hasta mayo del 2022. Por otro lado, se recolectaron datos de productividad en kilogramos por hectárea en los tratamientos evaluados. Como resultado se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la humedad del suelo, específicamente de la sombra mixta al 65% con respecto a los demás tratamientos con un promedio de 56.05% en todo el período analizado. Finalmente, en el caso de la productividad, el mejor tratamiento fue café con sombra de plátano con un total de 2,599.57 kg/ha.

Palabras clave: Agricultura sostenible, agroforestería, humedad, productividad, sombra mixta.

Abstract

Sustainable agriculture is a critical point that will determine food production in the medium and long term, worldwide. Agroforestry systems influence the reduction of erosion, increased soil moisture and biological diversification of production systems. That is why, the objective of the study was to assess the effect of the different types of shade on soil moisture and coffee productivity in the agroforestry system of the Santa Teresa farm, El Paraíso, Honduras. For the study, a mixed type methodology was used. The qualitative section consisted of an in-depth interview to learn about the history, benefits and experience in the implementation of agroforestry systems. The quantitative section consisted of collecting moisture data in the different treatments (shade with *Inga edulis*, mixed at 45% and 65% and plantain), in the wet and dry season, in the periods from January to May 2022. On the other hand, productivity data were collected, in kilograms per hectare, in the treatments. As a result, the owner recognized different socioeconomic and environmental benefits of producing through an agroforestry system with coffee. In the case of humidity, significant differences were found between the treatments. In this way, the mixed shade at 65% retains more moisture, with an average of 56.05%. Finally, in the case of productivity, the one that produced the most, was the plantain-shaded plot, with a total of 2,599.57 kg/ha.

Keywords: Sustainable agriculture, agroforestry, humidity, productivity, mixed shade

Introducción

La agricultura es una actividad esencial para el ser humano, debido a que sin la producción agrícola no hay disponibilidad de alimentos. Los efectos del cambio climático se han intensificado en los últimos años. A escala global, ha sido considerado como una amenaza no solo desde el punto de vista ambiental, si no social y económico, por su posibilidad de impactar a diferentes sectores, entre los cuales la agricultura es uno de los más vulnerables (Ocampo, 2011). Por tanto, es importante practicar una agricultura resiliente y adaptativa ante los efectos del cambio climático.

La agricultura sostenible debe garantizar la seguridad alimentaria mundial. Al mismo tiempo, busca promover ecosistemas saludables, apoyar la gestión sostenible de la tierra, el agua y los recursos naturales (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2015). Por lo tanto, esta se ha visto en la posición de implementar prácticas de producción sostenible. A partir de las buenas prácticas agrícolas, se espera obtener una agricultura sostenible, ecológicamente segura con productos inocuos y de mayor calidad (FAO, 2012).

Los servicios ecosistémicos (SE) son conocidos por el conjunto de organismos que favorecen, en condiciones abióticas y sus interacciones, que permite que los seres humanos se vean beneficiados (Balvanera y Cotler, 2007). De igual manera, se caracterizan por ser componentes de la naturaleza que son directamente aprovechados o que contribuyen al bienestar humano (Boyd y Banzhaf, 2004). Dentro la categoría de servicios ecosistémicos, se encuentran los de aprovisionamiento, regulación, apoyo y culturales. Los servicios ecosistémicos hídricos incluyen regulación de caudales, la protección contra tormentas, y la provisión de agua de las cuencas en cuanto a la calidad (Lara et al., 2013). De esta manera podemos distinguir dos formas de uso de los servicios hídricos, el servicio de provisión de agua para consumo y el aprovechamiento del agua para la producción de alimentos y otros recursos (Robert et al., 2001). Sin embargo, estos servicios ecosistémicos se pierden al implementar malas prácticas agrícolas en zonas con alto potencial para el recurso hídrico.

La erosión hídrica genera la pérdida del potencial productivo del suelo, por deterioro de sus propiedades físicas, químicas y/o biológicas, afectando la calidad de los suelos o degradando los mismos (Amézquita et al., 2004). La erosión hídrica se puede evitar con la implementación de cobertura forestal, ya que esto genera mayor cantidad de materia orgánica al suelo. Lo anterior se debe a que el suelo no se expone de forma directa a la gota de agua lluvia y así no se destruye o transforman las propiedades físicas del mismo. La materia orgánica del suelo (MOS), interactúa de forma dinámica, tiene propiedades especiales tanto de carácter físico como químico e interviene en la disponibilidad para los cultivos. Dentro de las funciones que la MOS desempeña en el suelo están: mejora la textura, aumenta la capacidad de retención de agua, aumenta la capacidad de intercambio catiónico, es fuente de nutrientes, facilita la asimilación de fósforo, es fuente de gas carbónico (López Torrez, 2021).

La agroforestería es parte fundamental del proceso integral de la conservación y mejoramiento del suelo. Los Sistemas Agroforestales (SAF) son una estrategia que tienen como objetivo reforzar y establecer la sostenibilidad en las fincas de los agricultores mediante la promoción de la diversificación productiva y capacitación en el manejo de sistemas estratificados; mejorar y mantener todo tipo de agricultura. Además, estos sistemas permiten aumentar los niveles de materia orgánica del suelo, fijación del nitrógeno atmosférico, reciclaje de nutrientes, modificación del microclima dentro del cultivo y optimizar la productividad del sistema mediante la producción sostenible, entre otras (Farfán y Jaramillo, 2013).

La razón principal de aceptación de los SAF, ha sido su alta adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales y socioeconómicas (EcuRed, 2015). Al implementar sistemas agroforestales en el cultivo del café, se obtiene una mejor conservación de los recursos naturales y menor aplicación de insumos agrícolas, lo que se traduce en menores costos de producción (DaMatta y Rodríguez, 2007). Los sistemas agroforestales en cafetales contribuyen a mejorar la calidad del café, regular la fenología del cultivo, proteger y formar el suelo, mejorar su fertilidad, regular el microclima, proteger

y conservar la biodiversidad, manejar a las plagas, y además ofrecen productos que proporcionan cierta estabilidad económica y alimenticia al pequeño productor (Rodríguez Rubí, 2001). Otros beneficios que se encuentran al implementar estos sistemas en fincas cafetaleras están: aumentar los niveles de materia orgánica del suelo, retención de humedad en el suelo, fijación del nitrógeno atmosférico, reciclaje de nutrientes y optimizar la productividad del sistema mediante la producción sostenible (Fernando, 2014).

El cultivo del café es uno de los productos más importantes, debido a que tiene un papel fundamental en la economía de Honduras. En la actualidad existen más de 50 países productores, ya que es uno de los productos básicos más exportados a nivel mundial; los principales países productores de café son: Brasil 34.7%, Vietnam 18.4%, Colombia 8.4%, Indonesia 6.7% y Honduras 3.7%, el cual es el quinto mayor productor de café (Instituto Hondureño del Café, 2020). Este cultivo agrícola es parte del consumo diario en muchos países, por esta razón su comercialización es a nivel mundial en diversas etapas. Alrededor del 70% del café mundial es producido por al menos 25 millones de pequeños productores y sus familias (Instituto Hondureño del Café, 2020). Por lo tanto, la producción de este tiene un rol importante en el desarrollo socioeconómico de los municipios cafetaleros, porque muchas familias dependen de este cultivo, ya que se convierte en la única fuente de empleo en las áreas rurales en temporada de cosecha.

La región centroamericana contribuye con el 12.4% de la producción anual de café a nivel mundial, siendo Honduras el principal productor de la región con un aporte de 29.9% en la región centroamericana. El café en esta región se caracteriza por el cultivo de la especie arábica 99.17% del total de la producción (Instituto Hondureño del Café, 2020). La caficultura en Honduras es el rubro más importante del sector agrícola, 15 de los 18 departamentos son productores y 210 de los 298 municipios. El Instituto Hondureño del Café (IHCAFE) cuenta con más de 120,000 familias productoras inscritas, las cuales 95% de estas son conocidas como pequeños productores. Un productor de pequeña escala tiene una producción menor a 50 qq de café en oro. Este cultivo al ser el más

importante a nivel nacional, es el de mayor potencial económico (porcentaje de crecimiento). Además, genera un estimado superior a 1.1 millones de empleos en todas las actividades del cultivo (Instituto Hondureño del Café, 2020). La economía de Honduras depende del sector agrícola, siendo el café uno de los cultivos que más aporta su crecimiento. Este aporta un 30% al PIB agrícola y 5% del PIB total (Álvarez, 2018). Complete esta segunda línea o suba todo

El cambio climático ha afectado la producción de café se ha reflejado en la disminución de los rendimientos y también se han reducido las áreas destinadas para este rubro por efecto de bajos precios en el mercado. No obstante, la estimación de la vulnerabilidad del cultivo de café al cambio climático señala que a mediados del siglo XXI existe el riesgo de la pérdida media de la producción de café, del 7 al 10% debido principalmente a la disminución de la precipitación (Rivera Silva, María del Rayo et al., 2013). En segundo lugar, por el hongo de la roya, (*Hemileia vastatrix*), siendo el cambio climático factor clave en el actual brote de la roya. La enfermedad ataca particularmente a las variedades de la especie *Coffea arabica* y se considera el patógeno más destructivo y de mayor importancia económica para el sector a nivel mundial (Thomas Paul Henderson, 2019).

El efecto de la sombra en la humedad del suelo ha beneficiado la producción del cultivo del café. La retención de humedad por el suelo está en función de sus características de textura y estructura, representa la reserva de donde las plantas absorben las cantidades necesarias para sus ciclos energéticos y de los nutrimentos (Chávez y Cháves, 1999). La implementación de sombra en cafetales depende del clima y suelo de la región, debido a que en regiones con buena disponibilidad de agua, se obtiene la retención de humedad en el suelo (Farfán y Jaramillo, 2013).

Mantener altos niveles de humedad del suelo puede ser importante para el éxito del cultivo de café, sobre todo en los primeros 30 cm de suelo y especialmente en la estación seca. El desarrollo de flores dependen de la disponibilidad de precipitaciones en la estación seca y del tiempo en que estas ocurran (Lin, 2010).

Estudios realizados en Etiopía, en donde se originó la planta Arábica, recomiendan el uso de árboles de sombra para mejor rendimiento del café. En este sentido, entre los diversos factores para tener un buen rendimiento de café, está el crecimiento de árboles de sombra con la planta de café. A su vez, la sombra contribuye tanto en la vida útil de los árboles de café, como en su rendimiento. Tradicionalmente; todas las plantas de café se cultivaban a la sombra y la mayoría de las variedades son naturalmente intolerantes a la luz solar directa y desean un dosel de árboles de sombra que filtren el sol (Mekonnen, 2015).

Además, se tiene un efecto sobre el rendimiento de café, atribuido a su influencia en la regulación de la carga fructífera. Este efecto puede tener resultados positivos con un manejo agroforestal adecuado, pues reduciría fluctuaciones bienales extremas de la producción de café. Los árboles también regulan el clima dentro del cafetal (microclima), también, tienen efectos positivos sobre la fertilidad del suelo, la cantidad de materia orgánica, el reciclaje de nutrientes, disminuyen la evaporación del suelo, reducen la erosión y secuestran carbono. Sin embargo, hay algunos aspectos sobre servicios de aprovisionamiento que aún siguen siendo complejos y a veces contradictorios (Villareyna et al., 2020).

Los sistemas agroforestales son parte de la agricultura sostenible, sin embargo, estos sistemas reducen el impacto del cambio climático y se obtienen mejores beneficios ecosistémicos. Implementar estos sistemas, brinda efectos positivos en el mantenimiento, aumento de la fertilidad de los suelos y manejo sostenible del cultivo (Larios-González et al., 2014). El tipo de suelo tiene relación con los rendimientos, para esto debe de tener las siguientes características: suelos de textura franco, estructura granular, suelos profundos o modernamente profundos, pendiente desde 0 hasta 45° suelos con buen drenaje (no inundables) y un pH entre 5.5 y 6.5 (La Duicela Guambi, 2011). Estas características del suelo favorecerán mejores rendimientos en el cultivo del café.

El efecto del cambio climático ha afectado la cosecha de café, ya que esta se adelantó aproximadamente un mes y esto ocasiona la pronta maduración del grano. Además, en el último

trimestre del año 2021, los regímenes de lluvia han sido muy bajos, lo cual afecta la cosecha porque la maduración de este no es uniforme. De igual forma, el cambio climático relacionado con la variabilidad climática ha presentado retos socioeconómicos y ambientales dado que el cambio en la adaptabilidad de los cultivos (Martínez et al., 2008).

Este estudio tiene como fin evaluar el efecto de cuatro tipos de sombra en la conservación de la humedad del suelo y la productividad de café en el sistema agroforestal de la finca Santa Teresa, en el departamento de El Paraíso, Honduras. Los objetivos específicos del estudio fueron, caracterizar los antecedentes y prácticas de producción en el sistema agroforestal de finca Santa Teresa, evaluar el efecto de cuatro diferentes tipos de sombra en la conservación de la humedad del suelo en la finca y comparar la productividad de las plantas de cafeto de cuatro tipos de sombra en el sistema agroforestal.

Materiales y Métodos

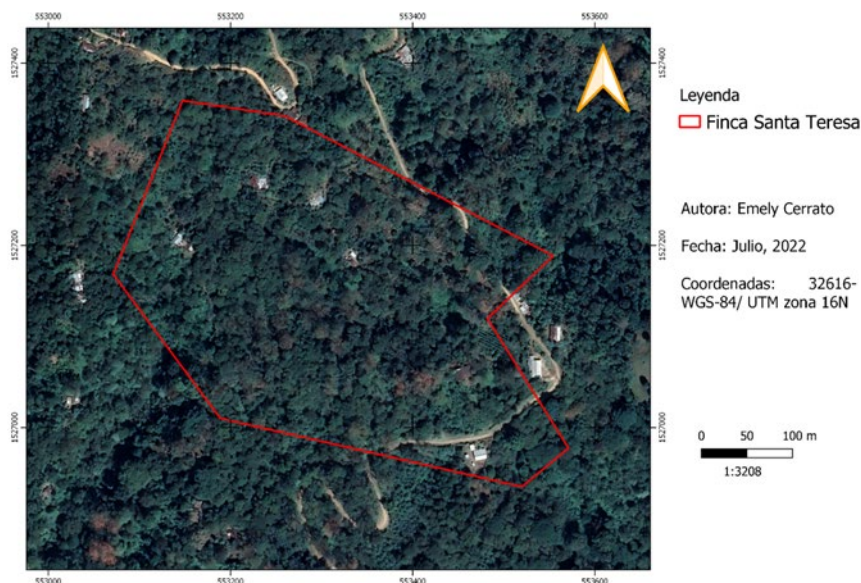
Descripción del Sitio de Estudio

El estudio se llevó a cabo en la zona oriental de Honduras, en la finca Santa Teresa, del departamento de El Paraíso, caserío Los Volcanes, comunidad de Las Dificultades (Figura 1). La finca se encuentra a una altitud mínima de 1,010 msnm y una máxima de 1,200 msnm, en las coordenadas estándar UTM este: 553382.4 y norte: 1527124.5. Se encuentra a una distancia aproximada de 96 km de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano (EAP).

Actualmente, la finca Santa Teresa cuenta con 10 variedades de café, tales como la Parainema, IHCAFE 90, Catuaí, Lempira, Colombia, Castilla, Híbrido Centroamericano, Obata, Milenium y Marsellesa. Igualmente, en la misma, se encuentran otros cultivos como plátano (*Musa paradisiaca*), malanga (*Colocasia esculenta*), naranja (*Citrus sinensis*), limón (*citrus limon*), mandarina (*citrus reticulata*), entre otros. La finca tiene una pendiente promedio aproximada del 25%, y además, posee una rango de temperatura que varía desde los 17 hasta los 38 °C (Escoto Mendoza, 2016).

Figura 1

Ubicación del sistema agroforestal Finca Santa Teresa

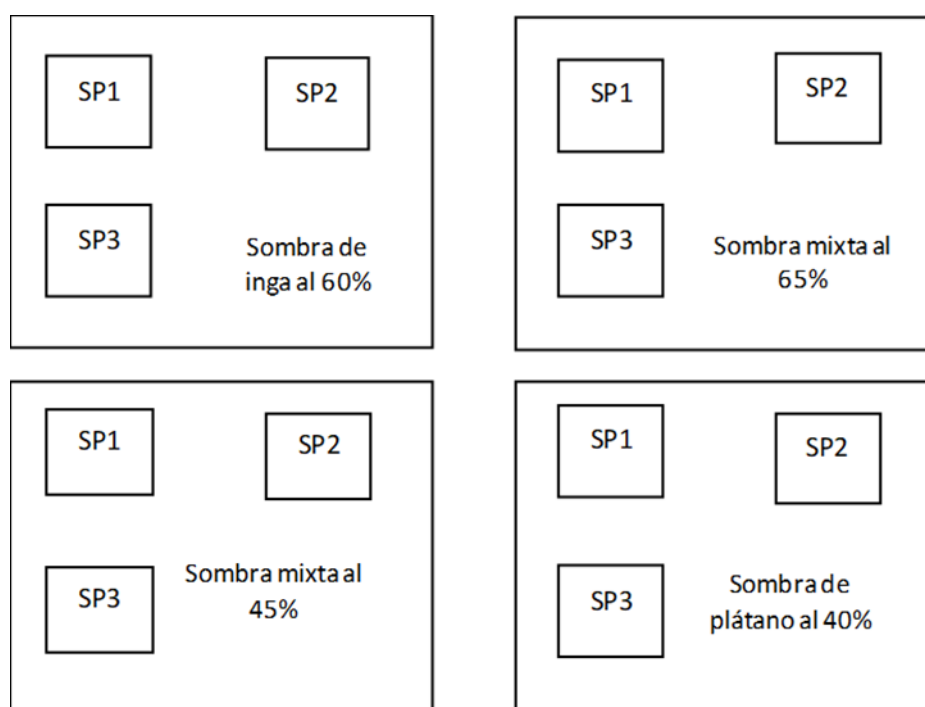


Diseño del Estudio

La investigación consiste en un enfoque tipo mixto, por lo que se incluyeron variables tanto cualitativas como cuantitativas. El estudio es de tipo no experimental, transversal, con alcance descriptivo y correlacional. El estudio constó de cuatro tratamientos, distribuidos en cuatro parcelas y tres repeticiones de cada uno, siendo un total de 12 unidades muestrales. Cada repetición o subparcela estuvo conformada por 16 plantas de café (unidades observacionales), distribuidas en cuatro filas y cuatro hileras de 4 plantas cada una (Figura 2). Estas subparcelas fueron evaluadas y comparadas entre sí. Los tipos de parcela se identificaron de la siguiente manera: Sombra mixta al 45% (SM45%), Sombra Mixta al 65%, Sombra de Inga (SI) y Sombra de Plátano (SP).

Figura 2

Esquema de las unidades experimentales



Recolección y Registro de Datos

La recolección de datos inició con la selección de parcelas por conveniencia. Esta selección no probabilística se realizó para evitar el sesgo por la divergencia de variedades de café en la finca, la

pendiente y regímenes hidrológicos. Las parcelas se encuentran ubicadas aproximadamente a una altitud promedio de 1,050 msnm, en un suelo franco arenoso y un tratamiento en suelo franco arcillo arenoso. Además, en todas las parcelas se cuentan con café (*Coffea arabica*) de la variedad Colombia (Figura 3). Esta variedad tiene una edad de tres años, siendo el periodo 2021-2022 su primera cosecha comercial. En toda el área de estudio, se realizan las mismas prácticas de manejo, como ser la fertilización con base en análisis de suelo, utilización de curvas a nivel para el establecimiento del cultivo. También, se implementan cercos vivos, mediante cercos de izote (*Yucca elephantipes*), incorporación de materia orgánica en el suelo, entre otras. En cada parcela, se identificó la especie de árboles que conforman el sistema agroforestal del sitio, el nivel de sombra que generan y se definieron los tratamientos evaluados en el estudio: sombra mixta al 45% (compuesta por guaba [*Inga edulis*], palo de hule [*Hevea brasiliensis*] y poró *Erythrina poeppigiana*) y sombra mixta al 65% (conformado por guaba [*Inga edulis*], palo de hule [*Hevea brasiliensis*] y poró [*Erythrina poeppigiana*]), sombra temporal de plátano al 40% (*Musa paradisiaca*) y sombra de guaba al 60% (*Inga edulis*).

Figura 3

Ubicación de las parcelas (tratamientos) evaluados



Caracterización del sistema agroforestal de café bajo sombra en la finca Santa Teresa

Entrevista en Profundidad y Observación Participante

Para caracterizar la finca, se aplicó dos entrevistas a profundidad. La primera, fue contextualizada para el dueño de la finca, el ingeniero César Cerrato. La otra, fue aplicada y contextualizada para el trabajador principal de la finca, el colaborador Marvin Rodríguez (Anexo A y B). Las entrevistas a profundidad, son herramientas frecuentemente utilizadas a trabajadores en el ámbito agrícola, ya que así se conocen los métodos cualitativos de la realidad social, los valores, las costumbres, las ideologías y cosmovisiones se construirán a partir de un discurso subjetivo, ya que el investigador asignará un sentido y un significado particular a la experiencia del otro (Robles, 2011). La herramienta sirvió para profundizar sobre cuáles han sido los beneficios económicos y ambientales a partir de la implementación del sistema agroforestal. Las preguntas de la entrevista están asociadas con la recolección de datos para conocer la historia de la finca, análisis de suelos previos, origen del uso de sombra en la finca, además, su experiencia a lo largo de la dedicación a la caficultura.

Transectos para selección de parcelas

Se aplicó la técnica de transectos para una estratificación preliminar en base a pendientes y densidades de sombra para luego establecer las parcelas con los diferentes tratamientos. Esta facilitó el registro de las variables de interés trazados en línea recta, sin necesidad de desplazarse hacia los lados, lo que constituye una ventaja sobre las parcelas cuadradas (Matteucci y Colma, 2002). Los transectos se realizaron en toda la finca a una distancia de 100 metros entre sí y los puntos de observación a 50 metros entre sí. Además, para seleccionar las parcelas se tomaron en cuenta parámetros biofísicos de la plantación como ser: variedad de café, edad, cantidad, ubicación, pendiente, número de bandolas, altura, entre otros.

Seguidamente, se aplicó la estratificación la cual se hace en el momento de la selección. Aunque las condiciones del terreno sean heterogéneas, de esta manera se garantiza una condición más homogénea a las plantas comprendidas en la franja para cada surco, dentro del cual se realizará la selección (Lira, 2011).

Tipo de Sombra y Humedad en el Suelo

Para la medición de humedad de suelo, se hizo uso de un sensor marca Kelway, el cual registra los datos en porcentaje del 0 al 100. Este sensor registró datos de forma manual y análoga. Las mediciones de humedad se realizaron en cuatro plantas por subparcela, previamente seleccionadas de manera sistemática, seleccionando las cuatro del centro de cada subparcela para así evitar el efecto borde, el cual es aplicable ya que las parcelas están ordenas. Estas mediciones se expresan esencialmente en la generación de micrositios favorables para el establecimiento vegetal, de especies persistentes (tolerantes a la sombra) cerca del borde y de especies pioneras más allá de la influencia directa del borde (Peña et al., 2006). Las mediciones de humedad fueron a 30 cm de profundidad en el perfil del suelo, debido a que el sistema radicular del café se encuentra en los primeros 30 cm de profundidad desde la superficie del suelo (José y Andrea, 2019). Además, se considera que contribuye a la recarga y no produce escorrentía.

La densidad de sombra, por parcelas, fue obtenida con la aplicación móvil “HabitApp”, esta aplicación fue diseñada con el fin de ayudar de manera simple en la evaluación la cobertura del follaje proporcionado por los árboles (Farfán et al., 2016). Esta aplicación ya es utilizada por el IHCAFE y validada por Centro de Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFE) como método de medición por ser práctico, sencillo, preciso y por no requerir conexión a internet. A través de esta se obtuvieron escalas porcentuales aplicadas en cada tipo de sombra y parcelas a evaluar. Se tomaron datos de forma aleatoria en cada subparcela por la mañana y tarde. Seguidamente, se realizó un promedio de cada tratamiento, y es así, como se obtuvo el porcentaje de cada uno. La toma de datos de humedad de suelo fue planificada en dos épocas, siendo estas húmeda y seca.

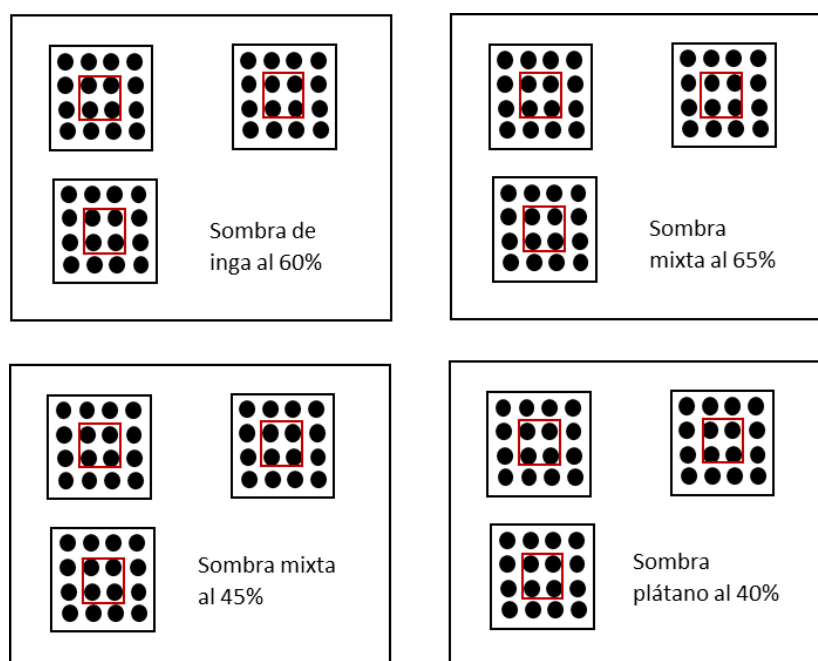
El tiempo de medición inició el 18 de enero y finalizó el 31 de mayo del 2022, abarcando cuatro meses correspondientes a la época seca y un mes de época húmeda. Los sensores fueron colocados el día de las mediciones en el centro de las subparcelas seleccionadas a una profundidad de 30 cm. Este procedimiento inició dos veces por semana, (martes y viernes por un mes). Posteriormente, se realizó el mismo procedimiento tres veces por semana (martes, jueves y sábado), en el mismo horario, siendo este a las 2:00pm, a partir del 12 hasta el 31 de mayo, por lo tanto, se obtuvieron un total de 768 datos de humedad en el suelo. Los datos fueron variando de acuerdo con los valores recolectados en la precipitación.

La frecuencia de toma de datos fue cambiando por las condiciones climáticas, las muestras dependían de este factor, según los regímenes de precipitación se fueron aumentando los intervalos en la recolección. Adicionalmente, se instaló un pluviómetro analógico, dentro de la finca en un sitio cercano a las subparcelas, el cual registró datos de precipitación, además, estos se recolectaron de forma diaria y la lectura de este se hacía diariamente a las 7:00 am por la misma persona. Para una toma de datos organizada se implementó el uso de calendarización previamente diseñado (Anexo C y D).

Evaluación de la Productividad

Medición de la Altura y Número de Bandolas

La medición de altura y número de bandolas se realizó en cuatro plantas de café seleccionadas por subparcela, las cuales fueron muestreadas por conveniencia las del centro, para evitar el efecto borde (Figura 4). La planta que muestra más cantidad de bandolas significa que tiene mayor material productivo (Blanco, 2000). Por lo tanto, obtendrá una alta cantidad de hojas y mejor fotosíntesis, lo cual beneficia a la floración y posteriormente a la obtención y maduración del grano, de esta manera la producción de café incrementa y beneficia al caficultor y a toda la cadena de comercialización.

Figura 4*Ubicación de las subparcelas***Tipo de Sombra y Productividad de Café**

El muestreo de productividad de café fue a través de las cuatro plantas seleccionadas por subparcelas. Al obtener los granos cosechados, se les dio el tratamiento de despulpado, el cual se desarrolló de manera mecánica y desmucilaginado de forma manual, hasta llevarlos al estado de pergamino seco (12-12.5% de humedad) (Álvarez, 2018).

La toma de datos, en la producción de café, fue planificada durante la cosecha. Esta fue correspondiente a los meses de noviembre, diciembre del 2021 y enero del 2022. Se obtuvieron datos de cuatro cortes. Seguidamente, se sumaron los valores de cada planta por repetición previamente seleccionada en cada subparcela y se obtuvo un promedio por tratamiento. Estos datos fueron extrapolados a kg/ha, obteniendo el promedio de las 4 plantas y multiplicándola por 4,285 plantas, que es la densidad de siembra del café. Al finalizar, se contó con 12 datos obtenidos de cada

subparcela. Los datos fueron reflejados en la calendarización creada específicamente para esta actividad (Anexo E).

Análisis de Datos

La información proporcionada, en la caracterización de la finca, se evaluó por medio de análisis cualitativo, mediante la profundización de los hallazgos obtenidos. Los datos recopilados con respecto a la humedad de suelo fueron procesados a través de Excel e Infostat, con un nivel de significancia de 5%. En primer lugar, se realizaron análisis descriptivos, en el mismo se evaluaron medidas de tendencia central (media). Al obtener estos datos, se procedió a realizar gráficas y cuadros para el análisis. Posteriormente, se aplicó un Análisis de Covarianza (ANCOVA) para la variable de humedad en el suelo, utilizando como covariable la precipitación (mm). Para las variables de productividad (altura total, número de bandolas y número de nudos) se utilizó un Análisis de la Varianza (ANDEVA) con medidas repetidas en el tiempo (tratamientos y ciclo). Para la variable de producción total (Kg/haPS) se aplicó un ANDEVA de una vía (Tratamientos). Al obtener diferencias significativas, se aplicó una prueba de Duncan para separar las medias de los tratamientos. También, se verificó los supuestos de normalidad y homogeneidad (igualdad de la varianza) a través del gráfico de “QQplots” utilizando los residuales.

Resultados y Discusión

Caracterización del Sistema Agroforestal Bajo Sombra en la Finca Santa Teresa

En la caracterización realizada en la finca se profundizó sobre su planificación, ejecución y mantenimiento. Esta fue comprada en el año de 1999, anteriormente, existían los cultivos de café (*Coffea arabica*), plátano (*Musa paradisiaca*) y cítricos, como ser naranja (*Citrus sinensis*), limón (*citrus limon*), mandarina (*citrus reticulata*), entre otros. Actualmente, existen los mismos cultivos, pero se implementaron nuevas variedades y se cuenta con el cultivo de aguacate (*Persea americana*). Además, se implementó el sistema agroforestal en el año 2002, en el cual existen las plantaciones de nogal (*Juglans regia*), poró (*Rythrina poeppigiana*), guaba (*Inga edulis*), liquidámbar (*Liquidambar styraciflua*), palo de hule (*Hevea brasiliensis*) y eucalipto (*Eucalyptus*).

La finca ha contado con un responsable (Marvin Rodríguez) por más de doce años, él cual considera importante el sistema agroforestal en la producción de café por la variación climática, estos han traído diversos beneficios, dentro de ellos, los económicos, por la uniformidad en la maduración del cultivo, leña de las podas, entre otros. Además, se percibe que ha traído ventajas al medio ambiente, por la retención de humedad en el suelo y mejora del microclima. Sin embargo, menciona que le gustaría contar con otras especies forestales para el efecto de sombra, como ser caoba (*Swietenia macrophylla*) y carrito (*Aspidosperma spruceanum*). El Sr. Marvin, considera la sombra en plantaciones cafetaleras importantes, debido a que existe una plantación y cosecha uniforme, además, mayor producción. Dentro de las plantaciones establecidas para sombra, se considera que el plátano es la más rentable, por sus ganancias económicas.

El propietario de la finca menciona que implementó el sistema agroforestal en la producción de café porque la plantación bajo sombra es más longeva y según su experiencia se obtiene una maduración más uniforme. Esta le ha traído una percepción de varios beneficios económicos, como ser: producciones más estables y la madera/leña se puede comercializar. Además, ha traído múltiples ventajas al medio ambiente, dentro de ellas: un microclima más favorable y estable, lo cual además

beneficia al café. En este contexto, el informante considera que la sombra es importante para las plantaciones cafetaleras, debido al cambio climático, retención de humedad en el suelo, estructura de este y producción uniforme de café. En el sistema agroforestal de la finca se aplican prácticas agrícolas, dentro de ellas: curvas a nivel, acequias y barreras vivas. Además, se cuenta con un plan de fertilización, en el cual se aplican fertilizantes orgánicos (pulpa de café) inorgánicos (cal) y químicos (Cuadro 1).

La variedad Colombia (*Coffea arábica*) fue entregada en 1980 en Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé), como resultado de un proyecto de investigación iniciado a finales de la década de los años 60, con el objetivo de producir una variedad de café con resistencia a la roya, *Hemileia vastatrix*. Esta enfermedad apareció en el país Colombia en el año de 1983 y se ha extendido hacia el resto de los países. Dentro de las características se encuentran: calidad de la bebida y del grano, porte bajo, alta producción, uniformidad fenotípica razonable, adaptabilidad y la resistencia a la roya (Moreno y Gabriel, 2001). Además, la finca cuenta con otras variedades de café, tales como la Parainema, IHCAFE 90, Catuaí, entre otras.

Cuadro 1

Fertilizantes químicos utilizados

Fórmula/Nombre	Aplicación	Cantidad (g)	Frecuencia de aplicación
18-46-0 Fosfato Diamónico	Las plantas de café	28	Tres aplicaciones anuales
20-15-5 Fastrac	Las plantas de café	56	Tres aplicaciones anuales
20-5-17 Fastrac Producción	Las productoras de café	84	Una aplicación anual entre junio-julio (inicio de lluvias)
17-5-21 Fastrac Producción llenado	Las productoras de café	84	Una aplicación anual entre octubre-noviembre
20-15-5 Fastrac	Las plantas de plátano	56	Dos aplicaciones anuales (mayo-noviembre)

Debido a que dentro del sistema agroforestal se encuentran diferentes especies, lo cual dió la necesidad de tener mediciones dentro del sistema. Dividiendo la cantidad de plantas existentes, la Ha tiene 10m² y se estimó el área según la distancia promedio entre los árboles. Con el fin de determinar la densidad de siembra (Cuadro 2). De esta manera se determina la población existente dentro de los tratamientos evaluados.

Cuadro 2

Densidad de Árboles/Ha en el sistema agroforestal

Cultivo	Densidad de Árboles/Ha
Plátano (<i>Musa paradisiaca</i>)	555
Guaba (<i>Inga edulis</i>)	178
Palo de hule (<i>Hevea brasiliensis</i>)	156
Poró (<i>Rythrina poeppigiana</i>)	44

El 04 de marzo del 2022, por medio del laboratorio de suelos de la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, se realizó un análisis de suelo. De este modo, los resultados indicaron que todos los tratamientos se encuentran bajo una tipología de suelo franco arenoso, a excepción de la sombra inga, que se encuentra en un suelo franco arcillo arenoso (Cuadro 3).

Cuadro 3

Descripción del suelo dentro del sistema agroforestal

Parcela	Tipo de suelo
Sombra Mixta 65% (SM65%)	Franco Arenoso
Sombra Mixta 45% (SM45%)	Franco Arenoso
Sombra de Plátano (SP40%)	Franco Arenoso
Sombra de Inga (SI60%)	Franco Arcillo Arenoso

Tipo de Sombra y Humedad de Suelo

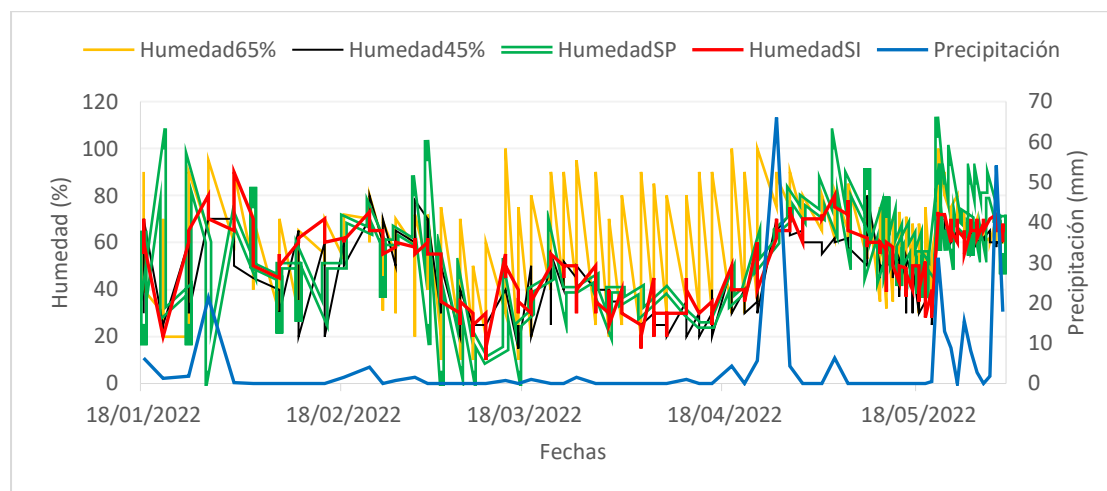
Durante el período comprendido desde el 18 enero hasta el 31 mayo del 2022 se evaluó la humedad del suelo en los tratamientos, observando los eventos de precipitación, además con la ayuda de un pluviómetro analógico, el cual estaba ubicado aproximadamente a 5 metros de la parcela del plátano, a 20 metros de las parcelas mixtas y a 200 de la parcela de inga. El cual era verificado todos

los días a la misma hora y por la misma persona, para no tener cambios en los resultados. En la (Figura 5), se observa algunos eventos de precipitación ocurrido durante la fase del estudio, registrando algunos picos importantes de precipitación al final del mes de abril e inicios del mes de mayo. Después de la primera precipitación mayor a 60 mm no hubo respuesta inmediata en la humedad, debido a que durante los primeros eventos de precipitación no toda el agua se infiltra ya que la mayoría se pierde por la escorrentía, un ejemplo claro, es el tratamiento de plátano, el cual muestra que no fue inmediato. En este sentido, el Análisis de Covarianza (ANCOVA) confirmó diferencias significativas en la variable de respuesta de humedad (%) en el suelo para los diferentes tratamientos ($f=33.80$, $p=0.001$).

Los tratamientos con mayor porcentaje de humedad retenida fueron sombra mixta al 65% (SM65%) con 56% y sombra con plátano (SP) con 54.66%, ambos estadísticamente iguales, seguido por el tratamiento sombra de inga (SI) con 51.90% y por último al ser una sombra mixta (SM45%) obtuvo los valores de retención de humedad más baja con 46.94%. Estos resultados se obtuvieron controlando el efecto de las diferencias de precipitación en algunos días que ocurrió el evento ($p<0.05$). (Bai et al., 2019) menciona la necesidad tomar datos de precipitación para describir la humedad del suelo, ya que este se ve afectada por la variabilidad climática.

Figura 5

Relación entre humedad y precipitación en el sistema agroforestal



En este sentido, el análisis de covarianza (ANCOVA) confirmó diferencias significativas en la variable de respuesta de humedad (%) en el suelo para los diferentes tratamientos ($f=33.80$, $p=0.001$). Incluso después de haber controlado el efecto de las diferencias de precipitación en algunos días que ocurrió el evento. (Bai et al., 2019) menciona la necesidad tomar datos de precipitación para describir la humedad del suelo, ya que este se ve afectada por la variabilidad climática (Cuadro 4).

Los valores obtenidos de humedad pueden haber sido afectados por diversos factores, como ser la precipitación, ubicación, época del año, composición del sistema agroforestal y demás. Estos datos obtenidos son similares con un estudio realizado en Masaya, Nicaragua en julio del 2009 hasta enero del 2010. Según Larios (2014), sus valores se sitúan en el rango de 41 y 55% de humedad del suelo. En el presente estudio, llevado a cabo de enero a mayo del 2022 los valores se encuentran en un rango entre el 47 y 56%. Cabe mencionar que una especie en común que se tiene en ambas investigaciones es guaba (*Inga edulis*).

Cuadro 4

Valores promedios de retención de humedad (%) en los diferentes tratamientos

Tratamiento	% Humedad
SM65%	56.01 ^a
SP40%	54.77 ^a
SI60%	51.90 ^b
SM45%	46.94 ^c

Nota. Valores con letras diferentes indican diferencias estadísticas ($p < 0.05$)

En los resultados se observa que, la parcela con sombra mixta al 65% (SM65%) muestra mayor porcentaje de humedad, siendo este de 56.01%. En segundo lugar, se encuentra la sombra de plátano (SP) con un promedio de 54.77%, luego la parcela con sombra de inga (SI) con un valor de 51.90% y por último la parcela con sombra mixta al 45% (SM45%) con un total de 46.94%.

Tipo de Sombra y Productividad de Café

Para observar la productividad del cultivo café en los diferentes tipos de sombra se realizó una prueba de LSD Fisher en el crecimiento de bandolas para separar las medias por tratamiento se obtuvo un valor ($f=1.41$, $p=0.2778$), dichas bandolas tuvieron una longitud de ($f=12.06$, $p=0.0002$). En el caso de las plantas, éstas tuvieron una altura de ($f=1.20$, $p=0.3423$) y número de nudos de ($f=3.54$, $p=0.0386$) (Cuadro 5).

Cuadro 5

Crecimiento vegetativo por tratamiento

Tratamiento	Ciclo	Altura de planta (m)	Bandolas	Longitud (m)	No. Nudos
SM65%	1	1.34 ^a	41 ^a	0.78 ^a	15 ^a
SM45%	1	1.29 ^{ab}	41 ^a	0.70 ^a	14 ^a
SP	1	1.22 ^{ab}	38 ^{ab}	0.53 ^b	12 ^b
SI60%	1	1.18 ^b	37 ^b	0.64 ^c	13 ^b
SM65%	2	1.65 ^a	47 ^a	0.96 ^a	20 ^a
SM45%	2	1.63 ^{ab}	46 ^a	0.98 ^a	19 ^a
SP	2	1.56 ^{ab}	42 ^{ab}	0.77 ^b	16 ^b
SI60%	2	1.54 ^b	43 ^b	0.87 ^c	17 ^b

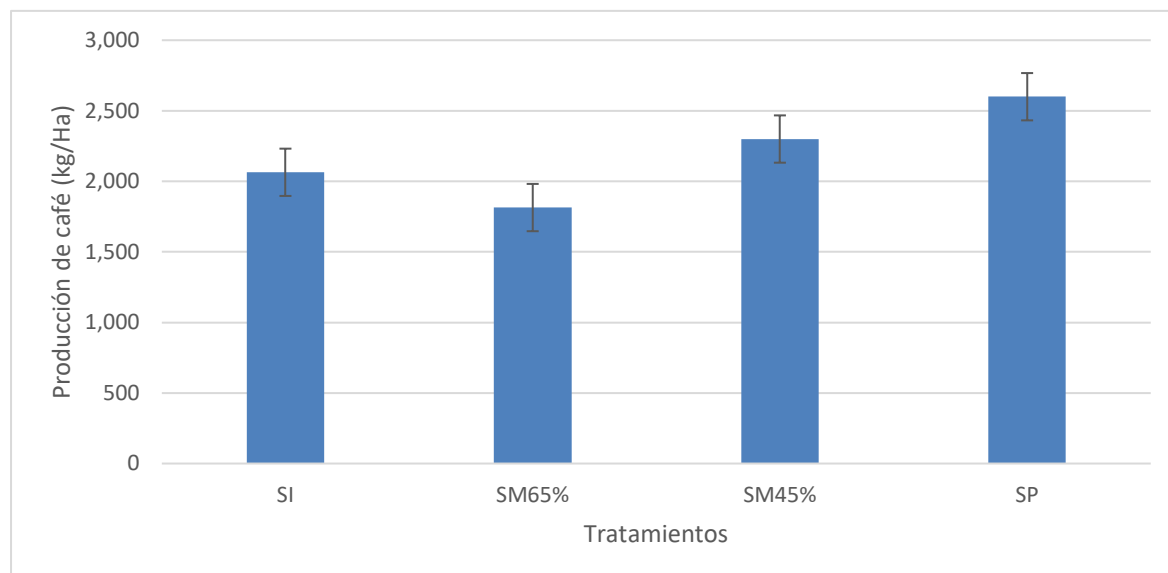
De acuerdo con Beer et al. (2003) se considera que el sombrero ideal para un cafetal sin que disminuya su producción debe fluctuar entre 0 y 45%, dependiendo de la zona de cultivo, ya que sus componentes son la suma de un sombrero natural debido a la nubosidad de la región y al sombrero de los árboles; por lo tanto, los porcentajes de sombra deben ajustarse de acuerdo con su localidad.

Al comparar la productividad en los cuatro tratamientos, con diferentes tipos de sombra (Figura 4), en los resultados se observa que la parcela con mayor productividad promedio es de 2,599.57 kg/Ha, siendo está Sombra de Plátano (SP). Seguidamente, Sombra Mixta al 45% (SM45%) con 2,299.62 kg/Ha, luego, Sombra de Inga (SI) 2,063.94 kg/Ha, y por último Sombra Mixta al 65% (SM65%) 1,813.98 kg/Ha. Más del 95 % del área cultivada de café, en nuestro país está bajo sombra, predominando la especie Ingas (Ordoñez y Sosa, 2001).

Al realizar el análisis de ANDEVA, se obtuvo diferencias significativas ($f=8.41$, $p=0.0074$), indicando que al menos uno de los cuatro tratamientos fue diferente estadísticamente. Seguidamente, se realizó una prueba de Duncan para separar las medias de los tratamientos evaluados. El resultado demostró que el tratamiento Sombra de Plátano (SP) fue el mejor estadísticamente ($p<0.05$) con respecto a los demás. Esto demuestra que es altamente significativo y el de mayor productor de café de los tratamientos evaluados. Los resultados de la productividad, pueden deberse a varios factores. Uno de ellos, podría ser el aporte extra de nutrientes que recibe el sistema radicular del café, por parte de fertilización realizada al plátano, cada cierto tiempo. Por otro lado, según Farfán-Valencia (2005), el aporte significativo de biomasa, dada la renovación constante en el ciclo productivo del plátano, puede influir en procesos de transferencias de nutrientes, considerada como fertilización orgánica.

Figura 6

Producción en el sistema agroforestal de café bajo cuatro diferentes tipos de sombra



Conclusiones

El sistema agroforestal de la finca Santa Teresa contribuye con beneficios ambientales relacionados con la retención en la humedad del suelo. Las prácticas de manejo de la finca, tales como plantación en curvas a nivel, barreras vivas y la integración de materia orgánica, influyen también en la productividad y sostenibilidad del sistema.

En el contexto del estudio, los diferentes tipos de sombra influyen en la retención de la humedad en el suelo. La sombra mixta con 65% de cobertura (SM65%) reporta mayor retención de humedad siendo este de 56.01%. Estos resultados en los sistemas de mayor retención de humedad pueden atribuirse a la cobertura forestal y a la cantidad de hojarasca que aportan.

Los mayores rendimientos productivos del café se reportaron en los sitios bajo sombra de plátano (2,600 kg/Ha). Al mismo tiempo, esta asociación de plátano con café representa una alternativa de diversificación de ingreso económico por la comercialización del fruto.

Recomendaciones

Considerar para la toma de datos la época seca y lluviosa, y así evaluar la influencia del sistema agroforestal en la conservación de la humedad de suelo, debido a que en este estudio no fue evaluada toda la temporada de lluvia.

Evaluar la influencia de otros factores que afectan la productividad en el agroecosistema, tales como la variedad de café, otros tipos de sombra, efectos de cambio climático.

Evaluar la sombra de distintas especies arbóreas y la asociación que producirán en conjunto con el café y los distintos beneficios ecosistémicos de estos como biomasa para leña proveniente de podas de los árboles.

Extender el estudio por un periodo de dos o tres años más, para evaluar el efecto que tienen a través del tiempo los tratamientos sobre la longevidad y productividad de la plantación.

Referencias

- Álvarez, M. (2018). Análisis de la cadena de valor de café en Honduras. Instituto Hondureño del Café. <https://www.coursehero.com/file/66112203/cadena-valor-cafe-2018-HEIFER-IHCAFE-PNUDpdf/>
- Amézquita, Thomas, R., Idupulapati M. Rao y Molina, D. (2004). Uso de pastos tropicales de raíces profundas para construir una capa arable mediante la mejora de las propiedades del suelo de un Oxisol en los Llanos Orientales de Colombia, *103*, 269–277. https://www.researchgate.net/publication/223013250_Use_of_deep-rooted_tropical_pastures_to_build-up_an_arable_layer_through_improved_soil_properties_of_an_Oxisol_in_the_Eastern_Plains_Llanos_Orientales_of_Colombia
- Bai, W., Chen, X., Tang, Y. y Zheng, Y. (2019). Cambios temporales y espaciales de la humedad del suelo y su respuesta a la temperatura y la precipitación sobre la meseta tibetana, *64*, 1370–1384. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02626667.2019.1632459>
- Balvanera, P. y Cotler, H. (2007). *Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos*. <https://www.redalyc.org/pdf/539/53908502.pdf>
- Boyd y Banzhaf (2004). ¿Qué son los servicios ecosistémicos? La necesidad de unidades de contabilidad ambiental estandarizadas, *103*(616-626). https://www.researchgate.net/publication/222569627_What_Are_Ecosystem_Services_The_Need_for_Standardized_Environmental_Accounting_Units
- Chávez, J. y Cháves, B. (1999). *Aspectos hidrológicos en un bosque y en plantaciones de café (Coffea arabica L.) al sol y bajo sombra*. [https://www.cenicafe.org/es/publications/arc050\(02\)097-105.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc050(02)097-105.pdf)
- DaMatta y Rodríguez (2007). Producción sostenible de cafetales en sistemas agroforestales del Neotrópico: una visión agronómica y ecofisiológica. *Scielo*, 113–123. <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v25n1/v25n1a13.pdf>
- La Duicela Guambi (2011). Manejo sostenible de fincas cafetaleras: Buenas prácticas en la producción de café arábico y gestión de la calidad en las organizaciones de productores. *Porto Viejo, Ecuador, Imprenta CGRAF, Manta. COFENAC (Consejo Cafetalero Nacional)*.
- EcuRed. (2015). *Sistemas Agroforestales*. https://www.ecured.cu/Sistemas_agroforestales
- Escoto Mendoza, A. J. (2016). *Plan estratégico municipal de El Paraíso con enfoque de ambiente, cambio climático y género*. Secretaría de Agricultura y Ganadería. https://portalunico.iaip.gob.hn/portal/ver_documento.php?uid=MjgwMjE0ODkzNDc2MzQ4NzEyNDYxOTg3MjM0Mg==
- Farfán y Jaramillo. (2013). *Sombrío para el cultivo del café según la nubosidad de la región*. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/376>
- Farfán, F., Bermúdez, L. y González, N. (2016). *Evaluación de herramientas para valorar el porcentaje de sombra en sistemas agroforestales con café*. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/4177/1/AVT0472.pdf>

- Fernando, F. (2014). *Agroforestería y sistemas agroforestales con café*. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/4213>
- Instituto Hondureño del Café. (2020). *Informe Estadístico 2019-2020*. <https://www.ihcafe.hn/wp-content/uploads/2021/08/INFORME-FINAL-Resumen-CIERRE-EXPORTS-2019-2020-3.pdf>
- José, R. y Andrea, G. (2019). *Distribución de raíces en café variedad Castillo bajo dos arreglos espaciales*. Cenicafe. <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc070%2801%29007-017.pdf>
- Lara, Laterra, Manson y Barrantes. (2013). *Servicios Ecosistémicos Hídricos: Estudios de Caso en América Latina y El Caribe*. https://www.researchgate.net/publication/305335460_Servicios_Ecosistemicos_Hidricos_Estudios_de_Caso_en_America_Latina_y_El_Caribe
- Larios-González, R., Salmerón-Miranda, F. y García-Centeno, L. (2014). Fertilidad del suelo con prácticas agroecológicas y manejo convencional en el cultivo de café, 14(23). <https://www.lamjol.info/index.php/CALERA/article/view/2660>
- Lin, B. (2010). El papel de la agrosilvicultura en la reducción de la pérdida de agua a través de la evaporación del suelo y la transpiración de los cultivos en los agroecosistemas cafetaleros, 150, 510–518. https://www.researchgate.net/publication/248350905_The_role_of_agroforestry_in_reducing_water_loss_through_soil_evaporation_and_crop_transpiration_in_coffee_agroecosystems
- López Torrez, R. B. (2021). *Evaluación de la Erosión hídrica en Suelos de Ladera en Sistemas Agroforestales, en el Valle la Danta, Somotillo, 2016 - 2017* [Tesis]. Universidad Nacional Agraria, Nicaragua. <https://repositorio.una.edu.ni/4377/>
- Martínez, C., Vignola, R., Locatelli, B. y Pablo, I. (Eds.). (2008). *Adaptación al cambio climático y servicios ecosistémicos en América Latina*. https://www.researchgate.net/profile/Celia-Martinez-Alonso/publication/235345589_Adaptacion_al_cambio_climatico_y_servicios_ecosistemas_en_America_Latina/links/00b7d5140640d3fe2a000000/Adaptacion-al-cambio-climatico-y-servicios-ecosistemas-en-America-Latina.pdf#page=55
- Matteucci y Colma. (2002). *Metodología para el estudio de la vegetación*. https://www.researchgate.net/publication/44553298_Metodologia_para_el_estudio_de_la_vegetacion_por_Silvia_D_Matteucci_y_Aida_Colma
- Mekonnen, M. (2015). *Efecto de la sombra de los árboles en la producción de cultivos de café en Etiopía*. <http://dx.doi.org/10.5539/jsd.v8n9p66>
- Moreno, G. y Gabriel, A. (2001). *La variedad Colombia: Veinte años de adopción y comportamiento frente a nuevas razas de la roya del cafeto*. <https://www.cenicafe.org/es/publications/bot022.pdf>
- Ocampo, O. (2011). El cambio climático y su impacto en el agro. *Revista De Ingeniería*. <https://revistas.uniandes.edu.co/doi/abs/10.16924/revinge.33.11>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2012). *Manual de Buenas Practicas Agrícolas para el Productor Hortofrutícola*. <https://www.fao.org/3/as171s/as171s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). *Agricultura Sostenible*. <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/overview/fao-and-post-2015/sustainable-agriculture/es/>
- Peña, J. C., Monroy, A., Álvarez, F. y María, O. (2006). Uso del efecto borde de la vegetación para la restauración ecológica del bosque tropical. *Mediagraphic Artenisa En Línea*, 8(2). <http://www.scielo.org.mx/pdf/tip/v8n2/1405-888X-tip-8-02-91.pdf>
- Rivera Silva, María del Rayo, Gavrilov, I. N., Castillo Álvarez, M., Ordaz Chaparro, V. M., Díaz Padilla, G. y Guajardo Panes, R. A. (2013). Vulnerabilidad de la producción del café (*Coffea arabica* L.) al cambio climático global. *Scielo*, 31(4). http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792013000500305&script=sci_arttext
- Robert, J., Stephen, C., Clifford, D. y Diane, M. (2001). El agua en un mundo cambiante, 11, 1027–1045. https://www.researchgate.net/publication/278126685_Water_in_a_Changing_World
- Robles, B. (2011). *La entrevista a profundidad: una técnica útil dentro del campo antropológico*. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-16592011000300004
- Rodríguez Rubí, L. (2001). *Sistemas agroforestales en café*. Ecosur. <https://revistas.ecosur.mx/ecofronteras/index.php/eco/article/view/417/415>
- Thomas Paul Henderson (2019). La roya y el futuro del café en Chiapas. *Revista Mexicana De Sociología*, 81(2). http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-25032019000200389
- Villareyna, R., Avelino, J. y Cerda, R. (2020). Adaptación basada en ecosistemas: efecto de los árboles de sombra sobre servicios ecosistémicos en cafetales. *Agronomía Mesoamericana*, 31(2), 499–516. <https://www.redalyc.org/journal/437/43762994016/html/>

Anexos

Anexo A

Entrevista aplicada al propietario de la finca

1. ¿En qué año compró la finca?
2. ¿Qué cultivos había antes?
3. ¿Qué cultivos hay actualmente?
4. ¿Por qué decidió implementar nuevos cultivos?
5. ¿En qué año se implementó el sistema agroforestal?
6. ¿Por qué decidió implementar el sistema agroforestal en la producción de café?
7. ¿Qué beneficios económicos le ha traído la agroforestería en los cafetales?
8. ¿Cómo ha beneficiado la agroforestería al medio ambiente?
9. ¿Qué plantaciones se encuentran establecidas en el sistema agroforestal?
10. ¿Le gustaría contar con nuevas especies forestales para el efecto sombra y cuáles?
11. ¿Qué cambios le gustaría realizar en la finca?
12. ¿Considera la sombra en plantaciones cafetaleras importantes y por qué?
13. De las plantaciones forestales establecidas, ¿cuál cree que es la más rentable y por qué?
14. De los cuatro tratamientos a evaluar, ¿cuál cree que retiene más humedad en el suelo y por qué?
15. De los cuatro tratamientos a evaluar, ¿cuál cree que tiene mayor productividad de café y por qué?
16. ¿Qué prácticas agrícolas aplica en el SAF?
17. ¿Cuenta con un plan de fertilización?
18. ¿Qué tipos de fertilizantes utiliza?
19. ¿Qué dosis aplica y cada cuánto?

Anexo B

Entrevista aplicada al responsable de la finca

1. ¿Qué cultivos había antes?
2. ¿Qué cultivos hay actualmente?
3. ¿Por qué se decidió implementar nuevos cultivos?
4. ¿Considera importante el sistema agroforestal en la producción de café?
5. ¿Qué beneficios económicos ha traído la agroforestería en los cafetales?
6. ¿Cómo ha beneficiado la agroforestería al medio ambiente?
7. ¿Qué plantaciones se encuentran establecidas en el sistema agroforestal?
8. ¿Le gustaría contar con nuevas especies forestales para el efecto sombra y cuáles?
9. ¿Qué cambios le gustaría realizar en la finca?
10. ¿Considera la sombra en plantaciones cafetaleras importantes y por qué?
11. De las plantaciones forestales establecidas, ¿cuál cree que es la más rentable y por qué?
12. De los cuatro tratamientos a evaluar, ¿cuál cree que retiene más humedad en el suelo y por qué?
13. De los cuatro tratamientos a evaluar, ¿cuál cree que tiene mayor productividad de café y por qué?

Anexo C

Calendarización humedad de suelo

Fecha	Subparcela 1	Subparcela 2	Subparcela 3
Martes 22-Feb			
Jueves 24-Feb			
Sábado 26-Feb			
Martes 1-Mar			
Jueves 3-Mar			
Sábado 5-Mar			
Martes 8-Mar			
Jueves 10-Mar			
Sábado 12-Mar			
Martes 15-Mar			
Jueves 17-Mar			
Sábado 19-Mar			
Martes 22-Mar			
Jueves 24-Mar			
Sábado 26-Mar			
Martes 29-Mar			
Jueves 31-Mar			
Sábado 2-Abr			
Martes 5-Abr			
Jueves 7-Abr			
Sábado 9-Abr			
Martes 12-Abr			
Jueves 14-Abr			
Sábado 16-Abr			
Martes 19-Abr			
Jueves 21-Abr			
Sábado 23-Abr			
Martes 26-Abr			
Jueves 28-Abr			
Sábado 30-Abr			
Martes 3-May			
Jueves 5-May			
Sábado 7-May			
Martes 10-May			
Jueves 12-May			

Anexo D

Calendarización pluviómetro

Fecha	Medición	Fecha	Medición
Sábado 09 - abril		Sábado 14 - mayo	
Domingo 10 - abril		Domingo 15 - mayo	
Lunes – 11 de abril		Lunes 16 - mayo	
Martes – 12 de abril		Martes 17 - mayo	
Miércoles – 13 de abril		Miércoles 18 - mayo	
Jueves – 14 de abril		Jueves 19 - mayo	
Viernes – 15 de abril		Viernes 20 - mayo	
Sábado 16 - abril		Sábado 21 - mayo	
Domingo 17 - abril		Domingo 22 - mayo	
Lunes 18 - abril		Lunes 23 - mayo	
Martes 19 - abril		Martes 24 - mayo	
Miércoles 20 - abril		Miércoles 25 - mayo	
Jueves 21 - abril		Jueves 26 - mayo	
Viernes 22 - abril		Viernes 27 - mayo	
Sábado 23 - abril		Sábado 28 - mayo	
Domingo 24 - abril		Domingo 29 - mayo	
Lunes 25 - abril		Lunes 30 - mayo	

Anexo E*Calendarización Cosecha de Café*

Medición	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4
Primera cosecha				
Segunda cosecha				
Tercera cosecha				
Cuarta cosecha				