



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECIARIAS Y AMBIENTALES**

CARRERA: INGENIERÍA FORESTAL

**INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR, MODALIDAD PROYECTOS DE
INVESTIGACIÓN**

TEMA:

“Evaluación del crecimiento inicial de tres variedades de *Coffea arabica* L. bajo sistemas agroforestales en la provincia de Imbabura, Ecuador”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Forestal

Línea de investigación: Desarrollo agropecuario y forestal sostenible

Autor: Jenifer Carolina Alvarez Pastillo

Director: Ing. Hugo Vinicio Vallejos Álvarez, Mgs

Ibarra –octubre – 2025



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	DE	1004966675	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Y	Alvarez Pastillo Jenifer Carolina	
DIRECCIÓN:		Ibarra	
EMAIL:		jcalvarezp@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0968581030

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Evaluación del crecimiento inicial de tres variedades de <i>Coffea arabica</i> L. bajo sistemas agroforestales en la provincia de Imbabura, Ecuador
AUTOR:	Alvarez Pastillo Jenifer Carolina
FECHA: DD/MM/AAAA	20/10/2025
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Forestal
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Hugo Vinicio Vallejos Álvarez, Mgs

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 20 días del mes de octubre de 2025

EL AUTOR:

.....
Jenifer Carolina Alvarez Pastillo

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTERGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 16 de octubre de 2025

Ing. Hugo Vinicio Vallejos Álvarez, Mgs

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



(f)
Ing. Hugo Vinicio Vallejos Álvarez, Mgs
C.C.: 1002018941

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del Trabajo de Integración Curricular “Evaluación del crecimiento inicial de tres variedades de *Coffea arabica* L. bajo sistemas agroforestales en la provincia de Imbabura, Ecuador” elaborado por Jenifer Carolina Alvarez Pastillo, previo a la obtención del título de Ingeniera Forestal, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:



Ing. Hugo Vinicio Vallejos Álvarez, Mgs
C.C.: 1002018941



Ing. Guillermo David Varela Jácome, Mgs.
C.C.: 1003648712

DEDICATORIA

A Dios porque fue mi guía constante para darme fuerza en cada momento difícil y darme sabiduría en todo este camino

A la Virgencita del Quinche por su protección, por escuchar mis oraciones y siempre estar presente en cada paso de este proceso

A mi papá Jorge, por ser mi apoyo incondicional, por enseñarme lo que es el esfuerzo en cada momento y creer siempre en mi

A mi mamá Rocio, por su amor eterno, comprensión, fortaleza y confianza. Siendo mi mayor inspiración.

A mi hermana Deyna, por ser el mayor pilar en mi vida, por siempre demostrarme cariño y compañía en todo este proceso para seguir adelante

A mis amigos de carrera Skarleth y Carlitos, por cada una de sus ayudas para realizar este proyecto, gracias por cada risa, desvelo y vivir momentos inolvidables. Gracias por ser parte de este gran viaje

A todos, con mucho cariño y gratitud, dedico este logro que es también suyo.

Jenifer Alvarez

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento total al Ing. Huguito Vallejos por ser mi mentor y director de tesis, que fue mi inspiración desde el primer día que inicié mi carrera, su dedicación y entrega a la docencia marco mi camino académico en el cual dejó una huella imborrable para mi formación, sus consejos y conocimiento han hecho de mí una mejor persona.

Al Ing. Guillermo Varela, por compartir sus grandes conocimientos, por ser mi guía para cada análisis y ante todo su paciencia y predisposición durante todo el proceso, el apoyo brindado ha sido muy importante para culminar esta etapa con éxito

Al Economista Fabián Cerón, por siempre abrirme las puertas de su hogar con amabilidad y generosidad, brindándome con ellos las facilidades para poder desarrollar mi investigación

A cada uno de ustedes gracias por la confianza brindada y por ser parte de este gran logro

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio se realizó con el objetivo de evaluar el crecimiento inicial de tres variedades de *Coffea arabica* L. bajo sistemas agroforestales en la provincia de Imbabura, Ecuador, ya que existe una escasa información sobre el crecimiento inicial y los costos de establecimiento de las variedades: bourbon sidra, caturra rojo y SL28, esto limita la toma de decisiones por parte de productores, en este estudio se aplicó un diseño de bloques al azar con arreglo bifactorial, considerando como factores a las variedades de café y a los SAF que esta integrados por espino (*Vachellia macracantha*), aliso (*Alnus acuminata*) y nogal (*Juglans neotropica*), se evaluaron variables como sobrevivencia, altura, diámetro de copa, diámetro basal, estado fitosanitario y costos de establecimiento y manejo. Los resultados mostraron que la variedad SL28 obtuvo un mejor porcentaje de sobrevivencia alcanzando el 97,92% en el sistema agroforestal con aliso, por otra parte, la variedad caturra rojo mostró mayor crecimiento en altura con 39,42 cm en el SAF con aliso, diámetro copa con 32,62 cm y diámetro basal con 6,13 cm en el SAF con espino, el sistema con la especie nogal evidenció valores bajos en la mayoría de las variables estudiadas. En cuanto a costos, el SAF con espino fue más viable con un total de \$ 990,55 frente a \$1155,69 en aliso y \$1047,00 con nogal, se concluye que la interacción entre caturra rojo y el SAF con espino y aliso es una alternativa favorable para el establecimiento de las plantaciones de café en condiciones agroforestales adecuadas.

Palabras clave: *Coffea arabica*, sistemas agroforestales, crecimiento inicial, variedades, costos, sobrevivencia.

ABSTRACT

This study was carried out with the objective of evaluating the initial growth of three varieties of *Coffea arabica* L. under agroforestry systems in the province of Imbabura, Ecuador, since there is little information on the initial growth and establishment costs of the varieties: bourbon cider, red caturra and SL28, this limits decision making by producers, in this study a randomized block design with a bifactorial arrangement was applied, considering as factors the varieties of coffee plants and the SAF that is made up of hawthorn (*Vachellia macracantha*), alder (*Alnus acuminata*) and walnut (*Juglans neotropica*), variables such as survival, height, crown diameter, basal diameter, phytosanitary status and establishment and management costs are evaluated. The results showed that the SL28 variety obtained a better survival percentage reaching 97.92% in the agroforestry system with alder, on the other hand the red caturra variety showed greater growth in height with 39,42 cm in the SAF with alder, crown diameter with 32,62 cm and basal diameter with 6,13 cm in the SAF with hawthorn, the system with the walnut species showed low values in most of the variables studied. Regarding costs, the SAF with hawthorn was more viable with a total of \$ 990,55 compared to \$ 1155,69 in alder and \$ 1047,00 with walnut, it is concluded that the interaction between red caturra and the SAF with hawthorn and alder is a favorable alternative for the establishment of coffee plantations in adequate agroforestry conditions.

Keywords: *Coffea arabica*, agroforestry systems, initial growth, varieties, costs, survival.

LISTA DE SIGLAS

PIB. Producto Interno Bruto

SIPA. Sistema de Información Pública Agropecuaria

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

SAF. Sistemas Agroforestales

ANOVA. Análisis de Varianza

CV. Coeficiente de variación

SE. Sistema Espino

SA. Sistema Aliso

SN. Sistema Nogal

CR. Caturra Rojo

BS. Bourbon Sidra

RAF. Radiación Fotosintéticamente Activa

MOOCA. Maximizing Opportunities in Coffee and Cacao in the Americas

INIAP. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias

USDA. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

ÍNDICE DE CONTENIDO

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	2
CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTERGRACIÓN CURRICULAR	3
APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR	4
DEDICATORIA.....	5
AGRADECIMIENTO	6
RESUMEN EJECUTIVO.....	7
ABSTRACT	8
LISTA DE SIGLAS	9
ÍNDICE DE CONTENIDO	10
ÍNDICE DE TABLAS.....	13
ÍNDICE DE FIGURAS	14
INTRODUCCIÓN.....	15
Problema de investigación.....	15
- Problemática a investigar.	15
- Formulación del problema de investigación.	16
- Justificación.....	16
Objetivos	19
Objetivo General	19
Objetivos Específicos	19
Hipótesis o preguntas de investigación.	19
CAPÍTULO I.....	20
MARCO TEÓRICO	20

1.1	Origen del cafeto	20
1.2	Clasificación botánica y morfología del cafeto	20
1.3	Condiciones Edafoclimáticas del cafeto	21
1.4	Especies del cafeto	21
1.4.1	Cafeto arábico (<i>Coffea arabica</i>).....	22
1.4.2	Variedades de cafeto arabico.....	22
1.4.3	Caturra.....	23
1.4.4	Bourbon sidra	23
1.4.5	SL-28.....	23
1.5	Crecimiento inicial de <i>Coffea arabica</i>	24
1.5.1	Variables para determinar el crecimiento de <i>Coffea arabica</i>	24
1.5.2	Diversidad Genética de <i>Coffea arabica</i>	25
1.6	Sistemas Agroforestales con Cafeto.....	26
1.6.1	Estrategias que brindan los SAF	27
1.6.2	Diversidad y Productividad de los SAF	28
1.7	Calidad de cafeto y los servicios ecosistémicos.....	28
	CAPÍTULO II.....	30
	MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
2.1.	Tipo de investigación	30
2.2.	Ubicación del lugar	30
2.3.	Caracterización edafoclimática del lugar	32
2.4.	Materiales, equipos y software.....	32
2.5.	Métodos, técnicas e instrumentos.....	33
2.5.1.	Diseño experimental:.....	33
2.5.2.	Instalación del experimento.	36
2.6.	Variables de estudio	38

2.7. Procedimiento y análisis de datos.....	42
CAPÍTULO III	43
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
3.1 Porcentaje de sobrevivencia de las tres variedades de <i>Coffea arabica</i> L.....	43
3.1.1 Número de plantas muertas	43
3.1.2 Número de plantas vivas	45
3.1.3 Crecimiento de las variedades bajo los sistemas agroforestales	46
3.1.4 Crecimiento en altura	46
3.1.5 Diámetro de copa.....	50
3.1.6 Diámetro basal.....	53
3.1.7 Estado fitosanitario.....	57
3.1.8 Costos del establecimiento del sistema.	59
Conclusiones.....	61
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	61
Recomendaciones	61
Referencias Bibliográficas.....	62
Anexos 1 – Fotografías.....	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Materiales de campo, equipo y software que fueron utilizados en el desarrollo de la investigación</i>	33
Tabla 2. <i>Diseño de Bloques al Azar con un arreglo bifactorial.</i>	34
Tabla 3. <i>Diseño de la matriz para el registro de datos primarios</i>	36
Tabla 4. <i>Código fitosanitario</i>	40
Tabla 5. <i>Actividades para determinar los costos de establecimiento y manejo.</i>	41
Tabla 6. <i>Análisis estadístico para número de plantas muertas</i>	43
Tabla 7. <i>Análisis estadístico para número de plantas vivas (%Sobrevivencia)</i>	45
Tabla 8. <i>Validación del modelo estadístico para la variable Altura</i>	47
Tabla 9. <i>Interacciones entre de los sistemas y tratamiento en la altura (cm)</i>	47
Tabla 10. <i>Validación del modelo estadístico para la variable Altura</i>	50
Tabla 11. <i>Interacciones entre de los sistemas y tratamiento en el diámetro de copa (cm)</i>	51
Tabla 12. <i>Validación del modelo estadístico para la variable Diámetro basal</i>	54
Tabla 13. <i>Interacciones entre de los sistemas s y tratamiento en el diámetro basal (cm)</i>	54
Tabla 14. <i>Resultado del análisis de Kruskal-Wallis aplicado al estado fitosanitario de las plantas</i>	57
Tabla 15. <i>Tabla resumen de los costos de establecimiento y manejo del ensayo</i>	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Ubicación del Campus Yuyucocha y Natabuela</i>	31
Figura 2. <i>Distribución de N° de plantas muertas por Variedad de Coffea arabica bajo Sistemas Agroforestales</i>	44
Figura 3 <i>Porcentaje de sobrevivencia de tres variedades de Coffea arabica bajo sistemas agroforestales</i>	45
Figura 4 <i>Crecimiento en altura de Coffea arabica en el Sistema Aliso</i>	48
Figura 5 <i>Crecimiento en altura de Coffea arabica en el Sistema Espino</i>	48
Figura 6 <i>Crecimiento en altura de Coffea arabica en el Sistema Nogal</i>	49
Figura 7 <i>Crecimiento del diámetro de copa en variedades de Coffea arabica en el Sistema Espino</i>	51
Figura 8 <i>Crecimiento del diámetro de copa en variedades de Coffea arabica en el Sistema Aliso</i>	52
Figura 9 <i>Crecimiento del diámetro de copa en variedades de Coffea arabica en el Sistema Nogal</i>	52
Figura 10 <i>Crecimiento del diámetro basal en variedades de Coffea arabica en el Sistema con Espino</i>	55
Figura 11 <i>Crecimiento del diámetro basal en variedades de Coffea arabica en el Sistema con Aliso</i>	55
Figura 12 <i>Crecimiento del diámetro basal en variedades de Coffea arabica en el Sistema con Nogal</i>	56
Figura 13 <i>Estado fitosanitario de las tres variedades de Coffea arabica bajo SAF</i>	58

INTRODUCCIÓN

Problema de investigación.

- Problemática a investigar.

En la provincia de Imbabura, el cafeto es catalogado como uno de los mejores de la nación, tiene una proyección a mejorar su rendimiento a nivel de país, es así que el consumo del café es a nivel local y nacional.

Imbabura se enfrenta a múltiples desafíos uno de ellos el cambio climático en la actualidad y la disminución de la biodiversidad, y con ellos un problema grave en la implementación de plantaciones de cafeto en la zona, el uso de sistemas agroforestales que incluyen arboles es una buena alternativa para mejorar la salud del suelo, aumentar la biodiversidad y ofrecer sombra.

La adaptabilidad de las variedades de *Coffea arabica* L. como: Caturra rojo, Bourbon Cidra y SL 28 bajo sistemas agroforestales presentes en Imbabura no han sido estudiados, y por este motivo las personas no logran elegir de forma adecuada las condiciones específicas que necesita cada una de las variedades para su crecimiento, por lo que puede existir un bajo rendimiento y por ende limita que el café Imbabureño siga proyectándose como uno de los mejores del país.

Asimismo, la introducción de variedades sin la adecuada investigación previa no presenta una variación genética aceptable, como también aumenta la vulnerabilidad al ataque de plagas y enfermedades, teniendo repercusiones negativas en la producción agrícola, y en el campo cultura, que está ligada estrechamente con la producción de café.

Además, la ausencia de este tipo de datos iniciales de adaptabilidad del cafeto en la zona, limita a que los gobiernos y las organizaciones no gubernamentales puedan realizar programas de acompañamiento y apoyo, en este contexto saber cómo se comporta cada una de las variedades bajo sistemas agroforestales en la provincia de Imbabura, ayuda a una mejor productividad

- Formulación del problema de investigación.

Escasa información técnica de crecimiento inicial y costos de establecimiento de las tres variedades de *Coffea arabica* L. bajo sistemas agroforestales, lo que dificulta la adopción informada de prácticas agroforestales que servirán para optimizar la productividad y sostenibilidad de los mismos, la falta de conocimiento técnico es una barrera para la toma de decisiones de productores y para la mejora económica y ambiental.

- **Justificación**

La producción de *Coffea arabica* L. en la provincia de Imbabura es importante a nivel local y nacional, ya que de aquí se derivan uno de los mejores cafés del Ecuador. Es crucial realizar investigaciones y prácticas sostenibles para así fortalecer la producción cafetera de la zona. El proyecto en ejecución tiene una relevancia en la necesidad de que las variedades se adapten a los sistemas agroforestales, que son importantes para preservar la salud del suelo y brindar beneficios en el crecimiento de estas plantas.

Además, las raíces de las plantas de cafeto asociados con los sistemas agroforestales, benefician a la estructura del suelo, ya que con su desarrollo radicular promueve la formación de poros aumentando la aireación y con ellos reduciendo la compactación, teniendo un suelo más saludable y un equilibrio ecológico que beneficia a las zonas agrícola.

En zonas de producción de Imbabura se estima entre 520 y 550 ha cultivadas, el 58% de las mismas están en manos de pequeños agricultores, el 32% de medianos agricultores y el 10% de grandes agricultores, el rendimiento promedio de este producto se diferencia según el tipo de productor, así como el pequeño productor tiene un rendimiento de 8 qq/ha de café, el mediano produce 12 qq/ha y el mayor productor 15 qq/ha.

El café para el mercado internacional es complejo y variado al no estar influenciado de

forma directa con las grandes bolsas de comercio en los Estados Unidos y Europa, ya que estos determinan el precio de la libra a nivel internacional por medio de la oferta y demanda. No obstante, el Ecuador en los años 2015 al 2020, ha tenido exportaciones de este producto que representa el 0,94% del PIB, según reportes que genera el SIPA, durante ese periodo las exportaciones suman 337 millones de dólares, donde el producto “extractos, esencias y concentrados de café” representa el 89% de las exportaciones.

Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería en su Sistema de Información Pública Agropecuaria, el rendimiento a nivel nacional del café, expone que la provincia de Imbabura tiene registrada una producción de 50 Tm, lo que da como resultado un rendimiento por hectárea de 0,52 Tm y 95 hectáreas de superficie cosechada

Este estudio tiene un impacto en los aspectos de sostenibilidad, en el ambiental estos sistemas ayudan a la conservación de la biodiversidad, ya que proporciona hábitats para especies de flora y fauna, así mismo ayuda en mejorar la estructura y la fertilidad del suelo, los sistemas donde se integran árboles y cultivos funcionan como sumideros de carbono, ayudando a mitigar el cambio climático. Por otra parte, en el aspecto económico, este estudio proporciona beneficios al optimizar los costos de establecimiento de los sistemas, después de la identificación de las opciones más eficientes y rentables permite a los productores maximizar sus recursos y disminuir los riesgos que se encuentran asociadas con las prácticas agrícola. Por último, el aspecto social ayuda a las comunidades con la información técnica para una toma de decisiones adecuada, la incorporación de los sistemas agroforestales adaptados a las variedades, mejora la calidad de vida de los productores, asegurando un suministro estable y sostenible de café.

Los beneficiarios de este estudio pueden ser agricultores que estén interesados en realizar plantaciones de cafeto, ya que acceden a una información importante para la selección de las procedencias adecuadas para cada zona, de igual forma pueden ser estudiantes que tiene relación con el campo agrícola para realizar más investigaciones con la base principal de la adaptación y

el crecimiento inicial del cafeto obtenidos en este estudio, asimismo comunidades locales se verían beneficiadas con el fortalecimiento de sus valores tradicionales en el cultivo del cafeto.

Esta investigación proporcionará datos valiosos sobre la adaptabilidad y el rendimiento de las plantas de cafeto en su etapa inicial, así las entidades gubernamentales tendrán la facilidad de diseñar proyectos y programas de acompañamiento y el apoyo técnico para las personas que se dedican a la agricultura o interesados en las plantaciones de cafeto, dando la facilidad de implementar prácticas agroforestales.

La evaluación de las variedades en los sistemas agroforestales en la provincia de Imbabura, es muy importante para adquirir nuevos conocimientos, se enfoca principalmente en saber sobre la adaptabilidad en la zona, donde factores como son el cambio climático, la pérdida de biodiversidad afecta de manera significativa, fomentando así el intercambio de conocimientos entre la Universidad y comunidad, llegando así a lograr un enfoque de aprendizaje colaborativo.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el crecimiento inicial de tres variedades de *Coffea arabica* L. bajo sistemas agroforestales en la Provincia de Imbabura, Ecuador.

Objetivos Específicos

- Evaluar el porcentaje de sobrevivencia de las tres variedades de *Coffea arabica* L.
- Analizar el crecimiento de las variedades de café bajo los sistemas agroforestales.
- Determinar costos del establecimiento y manejo de los sistemas agroforestales en función de su viabilidad técnica.

Hipótesis o preguntas de investigación.

Ho: Las tres variedades presentan un crecimiento inicial estadísticamente similar en los diferentes sistemas agroforestales.

Ha: Por lo menos una de las variedades presenta un crecimiento inicial estadísticamente diferente en los sistemas agroforestales

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

El café conocido como *Coffea arabica* tiene gran relevancia para las economías en algunos países del mundo. Las óptimas condiciones agroecológicas que presenta el Ecuador han facilitado el cultivo de este producto. Según Guerrero (2017), la especie de café conocida como Arabica representa aproximadamente el 63% en la producción nacional, y el 37% le pertenece al café Robusta, en las provincias de Sucumbíos, Napo, Pichincha y Orellana predomina el cultivo de Robusta con el 15% y en las provincias como Loja, El Oro, Zamora y Guayas predomina el café Arabica con un 85%.

1.1 Origen del café

El café se originó en Etiopía, los tipos de café más conocidos son el Arábica y Robusta es muy importante alrededor del mundo por su importancia económica y comercial, esta se cultiva especialmente en América Central y del Sur (Galindo, 2011). Descubrimientos recientes por el año de 1996 un equipo de arqueólogos, presumen que el consumo empezó en el siglo XII en Arabia, pero los que llevan las grandes propagaciones de café son los holandeses, ya que fueron explotadas grandes plantaciones en colonias como Ceilán y la Indonesia (Gotteland y Santurnino, 2007).

1.2 Clasificación botánica y morfología del café

Según Jiménez *et al.* (2018), el café pertenece al reino Plantae, división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, Orden Gentianales, Familia Rubiaceae y género *Coffea*. El café es un arbusto pequeño, con un tronco recto que alcanza los 10 metros en estado silvestre, por lo general los cultivos tienen tamaño que van desde los 3 metros.

- Estas plantas por lo general tienen un solo tallo con nudos y entrenudos, en el ápice del tallo se encuentra la formación de nudos, hojas produciendo así el crecimiento de forma vertical de la planta (Arcila *et al.*, 2007)

- La formación de las ramas se trata del crecimiento inicial de las plantas de cafeto, por consecuente en el quinto nudo del tallo aparece la primera rama lateral (Romero *et al*, 2019)
- En las hojas de las plantas de *Coffea arabica* L. son opuestas y de un color bronce cuando son jóvenes y verde oscuro cuando se desarrollan (Flórez *et al.*, 2013).
- Según Figueroa *et al*, (2015), las flores de esta planta se encuentran en las axilas de las hojas, su corola es blanca y forma 5 pétalos que se fusionan en su base

1.3 Condiciones Edafoclimáticas del cafeto

Según Romero *et al.* (2019) la temperatura óptima para el cultivo del cafeto va desde los 18°C hasta los 22°C, si existen temperaturas bajas que el mínimo ayuda al crecimiento y reduce la diferenciación floral, por lo contrario, si la temperatura sobrepasa el máximo acelera el crecimiento y con ello afecta la floración y la fructificación. Asimismo, Ramírez (2013) nos menciona que la precipitación adecuada para esta planta es de 1800 y 2800 mm al mes ya que si existe presencia excesiva de lluvias ayuda a la floración del mismo.

Cañas (2014), menciona que los vientos son los encargados de transportar el vapor de agua, haciendo que varíen componentes como es la lluvia, la temperatura y la luz del sol, menciona que los lugares más adecuados para el cultivo de cafeto es donde se presenta vientos con poca fuerza, ya que tienden a secar a la planta, Por otra parte, Valencia (1999), nos indica que las plantas de cafeto son cultivos de fotoperiodo corto, es decir que necesita menos de 13 horas del sol al día, tomando como referencia datos de Colombia se encuentra en un rango de 1600 y 2000 horas del sol por año.

1.4 Especies del cafeto

El cafeto pertenece a la familia de las Rubiáceas, la cual tiene 500 géneros y un aproximado de 6000 especies. No obstante, existen 4 especies conocidas en la industria comercial como son: *Coffea arabica* L. (cafeto arábico), *Coffea canephora* (cafeto robusto), *Coffea liberica* (cafeto liberico) y *Coffea excelsa* (cafeto excelso). Sin embargo, la especie que es reconocida por su calor

económico es *Coffea arabica*, tanto este último mencionado y el robusta suman el 99.0 % de la producción al nivel del mundo y el libérica solamente el 1.0 % (Julca *et al.*, 2023)

1.4.1 Cafeto arábico (*Coffea arabica*)

Esta fue descrita por Linneo en 1753, este cafeto es nativo de las tierras de Etiopía , como también se puede encontrar en otras partes de África y Arabia, Sus características productivas se resumen en: el mes de mayor cosecha es el Junio, las variedades más utilizadas fueron Sarchimor (18%), Caturra(17%), Catuía (14%) y Acawa el 11%, la *Coffea arabica* abarcó un promedio de 1.37 ejes productivos (Figuroa *et al.*, 2015). Según la FAO (2012), es una de las variedades más antiguas y se encuentran dispersas casi por todo el mundo. Ya que esta representa el 70% del cafeto que se comercializa en el mundo.

1.4.2 Variedades de cafeto arabico

Las variedades de cafeto se trata de una subcategoría dentro de la misma especie, las cuales han desarrollado características específicas ya sea por su diferencia genética, adaptaciones a diferentes pisos altitudinales o diferentes climas y a la intervención humana por medio de selección y cruce, es importante conocer las diversas características que presentan las especies y variedades de cafeto, esto con el objetivo de seleccionar la especie o material genético que se adapte de mejor manera a las condiciones de clima y suelo. En Ecuador las especies más predominantes y comerciales son: *Coffea arabica* y *Coffea canephora*, estas dos se diferencian por sus características morfológicas, constitución cromosómica y las diversas áreas de dispersión. (Duicela y Sotomayor, 1993)

Según Cruz *et al.* (2018) en su libro sobre la Embriogénesis somática de *Coffea arabica* L. Var. Caturra Rojo, Bourbon Cidra y SL-28 de plantaciones cafetaleras de la Provincia del Carchi, Zona 1, nos habla sobre las características esenciales estas variedades Caturra Rojo, es proveniente de una mutación natural de Bourbon, es un árbol enano de 1,80 m, se destaca por tener una alta productividad, pero también requiere de podas y fertilizaciones, Bourbon tiene un porte alto de

aproximadamente 3 m, es una mutación natural de Typica, es de alta calidad y de rendimiento medio, presenta baja resistencia a la roya y la broca, por ultimo SL-28 es una variedad única, es tolerante a la sequía y presenta un buen potencial de calidad, pero es muy susceptibles a principales enfermedades

1.4.3 Caturra

Esta variedad fue encontrada en Brasil, es conocida como una de las mutaciones del cafeto Bourbon. Se clasifican en dos “Caturra Rojo” y “Caturra amarillo”, estos dos nombres se basan en la coloración de los frutos, esta variedad es de porte bajo, y tiene un aspecto vigoroso, entrenudos cortos y una coloración verde en los brotes tiernos. La variedad Caturra es conocida por ser de amplio rango de adaptabilidad, excelente producción y buenas características agronómicas y organolépticas. (Duicela *et al.*, 2002)

1.4.4 Bourbon sidra

Esta variedad es el resultado de un cruce que se dio de forma natural entre Bourbon y Typica. El Bourbon se originó en la isla Reunión llamada antiguamente Bourbon, su característica principal, conocida por su dulzura y un ácido equilibrado, por otra parte, la Typica se originó en Etiopía y Yemen, su origen genético se expande alrededor del mundo, a su vez esta variedad fue identificada y desarrollada en Ecuador, tiene mejor desarrollo en pisos altitudinales de 1500 msnm, permite que su grano se desarrolle lentamente y eso ayuda a generar un sabor más complejo (Cruz *et al.*, 2018).

1.4.5 SL-28

SL-28 es una de las variedades más respetadas en África, lleva su origen desde la década de 1930 y se ha expandido por Kenia, otras partes de África y actualmente por América Latina, cabe destacar que esta variedad se la puede cultivar a altitudes medianas y altas, ya que son muy resistentes a la sequía, esta variedad fue seleccionada por Laboratorios Agrícolas Scoott, la identificación de los árboles individuales realizados por esta organización hizo que reciba el

prefijo SL. Se desarrolla en altitudes de 1500 a 2000 msnm, y tiene adaptación a climas cálidos y secos (Cruz *et al.*, 2018).

1.5 Crecimiento inicial de *Coffea arabica*

El crecimiento inicial de *Coffea arabica* esta influenciado por varios factores edafoclimáticos, fertilizaciones y prácticas de manejo del cultivo, cuando se utiliza abono orgánico según estudios realizados por Herrera *et al.* (2021), menciona que no se encuentran diferencias significativas en las variables tomadas para determinar el crecimiento. Por otro lado, Encalada *et al.* (2016) menciona la importancia de la sombra en el crecimiento inicial de estas plantas siendo los niveles del 50% y 80% los adecuados para un desarrollo óptimo en altura y área foliar, ya que el factor sombra actúa como regulador térmico, cuando estas se encuentran en exposición al sol. En contraste, existe el estrés abiótico que se da a partir de la salinidad teniendo un impacto negativo en el crecimiento del café, provocando la disminución del peso de las mismas y evidencias de toxicidad (Sadeghian *et al.*, 2015).

1.5.1 Variables para determinar el crecimiento de *Coffea arabica*

Fonseca *et al.* (2020) en su estudio sobre el crecimiento inicial y nutrición de genotipo de *Coffea arabica* L. evaluaron la altura y el diámetro del tallo en un tiempo de 10 meses, pasado 300 días se evaluó el área foliar, y colectaron el material vegetal, los datos los analizaron de forma estadística con normalidad y homogeneidad de varianzas, también fueron sometidas a la prueba de significancia del 5%, donde la influencia de la inoculación fue positiva con un incremento del 11,6% en altura y un 35,4% de incremento en el diámetro del tallo y un 80% en incremento de biomasa. Así mismo, Oliveira *et al.* (2022) realizó un estudio sobre el crecimiento de *Coffea arabica* L. en sistemas agroforestales, se monitoreo las precipitaciones y la temperatura que fue superior en junio, julio y agosto mayor a 50 mm, se evaluó crecimiento de la planta, composición foliar, condiciones ambientales, características del sistema agroforestal y productividad, teniendo como resultado que la mayor altura fue de Mundo Novo IAC 379-19 llego a 1,41m, el diámetro

mayor fue en Acua con 19 mm, destacando la importancia de los atributos biométricos en el cultivo de cafeto bajo el sistema agroforestal bajo condiciones de Brejo Paraibano. Por otro lado, la *Coffea arabica* L. necesita de factores ambientales como es la disponibilidad de energía y agua para su crecimiento, Checa y Noguera (2017) nos expone su investigación sobre la oferta ambiental, crecimiento inicial del café (*Coffea arabica*) en la zona cafetera de Nariño, donde evalúan las siguientes variables, altura de planta, diámetro de planta, número total de ramas, y área foliar. En los Municipios cafeteros del departamento de Nariño, existieron diferencias significativas en altura, diámetro basal del tallo y número de ramas con un p-valor de $<0,01$, debido la presencia de agua en su primer semestre y a su variabilidad climática por su relieve y su cercanía con el Ecuador.

1.5.2 Diversidad Genética de *Coffea arabica*

Este desempeña un papel muy importante para la resiliencia y la sostenibilidad de los SAF, teniendo ventajas como con la adaptación a condiciones adversas y la identificación de plagas y enfermedades, los SAF en Haití tiene una estructura compleja y diversa que ayuda al crecimiento y la estabilidad de las plantaciones de cafeto, ya que mejoran la sombra, el ciclo de nutrientes y ayudan a conservar el suelo (Millet *et al.*, 2024). Asimismo, la investigación que se centran en las técnicas de propagación como es la embriogénesis somática, complementan el conocimiento ya que se realiza regeneraciones de las variedades mejoradas, como son la alta resistencia a la roya y una excelente calidad del mismo, con la germinación de ellos garantiza la producción adecuada de la planta y que pueden ser adaptadas a invernaderos o a campo (Riviello *et al.*, 2023).

Las investigaciones que se han realizado en este entorno han abarcado diferentes métodos para un correcto desarrollo del cultivo, visto desde un enfoque biotecnológico y un orgánico Sánchez *et al.* (2019) y su equipo realizaron protocolos para realizar la inducción de embriogénesis somática, donde la tasa del mismo fue de hasta el 100% en condiciones experimentales. Por otro lado, Julca *et al.* (2015), la implementación de abonos orgánicos influye de manera significativa

en variables como el diámetro del tallo, pero seco y fresco, estas dos investigaciones nos orientan a la combinación de biotecnología y prácticas agrícolas para así mejorar el desarrollo y rendimiento del café.

La diversidad genética es importante para combatir el cambio climático, estudios realizados por Montagnon *et al.* (2024), menciona que la diversidad del café tiene aportes significativos como con la conservación del suelo y el uso adecuado de los recursos genéticos, comprender ese punto es esencial para mejorar las estrategias de las plantaciones y combatir de manera adecuada las variaciones ambientales como también las plagas y enfermedades.

1.6 Sistemas Agroforestales con Café

Un sistema agroforestal es una estrategia sostenible para el uso adecuado de la tierra, que se combina con especies forestales, árboles leñosos, cultivos agrícolas o actividades ganaderas en un mismo sitio, en tiempos simultáneos o escalando en el tiempo (López y Rocha, 2007). Los SAF, es una alternativa adecuada para ayudar a mejorar la productividad y desarrollo de los cultivos de café, en Colombia un estudio realizado por Farfán (2014), menciona que los árboles que proporcionan sombra en las plantaciones de café ayudan a conservar el suelo, mejorando su fertilidad y reduciendo la erosión. Asimismo, estudios realizados por Milla (2018) en la Amazonia del Perú, estudio el comportamiento en sentido agronómico de variedades de café bajo sombras de diferentes especies de árboles, aseverando que si obtienen un mejor rendimiento en los SAF. De manera similar en la región de Nariño, existen factores que afectan el crecimiento del café como son las condiciones climáticas y la altitud, destacando que es importante tomar en cuenta aquellos factores para optimizar su desarrollo (Criollo *et al.*, 2019).

La sostenibilidad ambiental y los beneficios económicos y sociales son una solución por medio de los SAF, en la Amazonia estos sistemas son llevados en marcha para mitigar el impacto que tiene la deforestación, incentivando alternativas como la producción de café bajo sombra, lo cual ayuda a los servicios ecosistémicos propios de las comunidades (Valdés, 2024). De manera

similar, los SAF con cafeto brindan servicios ecosistémicos como son la conservación del suelo, regula el microclima y mitiga el cambio climático ya que realiza la captura de carbono (Pinargote, 2021). En el Caribe demostraron que la cobertura arbórea aumenta la productividad y el crecimiento inicial de *Coffea arabica* como también mejora la resiliencia en situaciones de condiciones ambientales no favorables (Morales *et al.*, 2024).

1.6.1 Estrategias que brindan los SAF

Los SAF que están asociado con el cafeto han sido identificados como estrategias integrales para mejorar las condiciones socioeconómicas de los grandes, medianos y pequeños productores como también la calidad del medio ambiente de las comunidades, con ello se desglosa dos tipos de SAF los tradicionales y los comerciales, los cuales deben acoplarse a las características del medio, su clima y el objetivo que tiene el productor. La implementación de los SAF han demostrado ser una estrategia adecuada para la sostenibilidad de la producción de cafeto, ya que brindan servicios ecosistémicos que ayudan con la fertilidad del suelo y disminuyen los impactos negativos de los cultivos. (Torres y Briceño, 2024). Además, las zonificaciones agroecológicas, permiten identificar variables ambientales que son adecuadas para los cultivos de cafeto, optimizando la distribución de los SAF. (Perez y Geissert, 2006).

Zapata *et al.* (2017), en su estudio sobre el comportamiento ecofisiológico del cafeto, ha demostrado que la sombra tiene un papel importante en la eficiencia de la fotosíntesis de las plantas de cafeto, ya que el 47% de sombra no afecta a la fotosíntesis, por otra parte, el 48% de la misma disminuye la asimilación de carbono. Además, las estrategias de nutrición como son la fertilización aumentan la productividad, desarrollo y rendimiento de las plantas de cafeto (Capa y Alvarez, 2022). Asimismo, los SAF que incluyen cafeto es una estrategia importante para realizar un manejo sostenible, ya que estos sistemas ofrecen beneficios como es la captura de carbono y la conservación de los suelos, un buen manejo de estos sistemas representa un buen desarrollo, ya que se orientan a disminuir la competencia por recursos necesarios como son la luz y los nutrientes

(León, 2023)

1.6.2 Diversidad y Productividad de los SAF

Según, Haro *et al.*, (2025), en su estudio menciona que los pisos altitudinales demuestran que las especies forestales y las condiciones climáticas, intervienen de manera significativa en el rendimiento y la calidad de los cultivos de café. Altitudes que son mayores a 1800 msnm se identificó índices de plagas menores y con ellos un rendimiento del 97% con esto demuestra que los SAF tienen mucha importancia para maximizar los beneficios económicos y ambientales. Por otro lado, la existencia de diversidad y estructura arbórea en los SAF con café, demuestra que tiene una relación positiva entre la diversidad de especies y la edad de las plantaciones (Reyes *et al.*, 2022). Además, los SAF brindan un equilibrio entre la producción y la sostenibilidad, mejorando la salud del suelo y una capacidad agroecosistema para combatir impactos negativos.

(Damatta y Rodríguez, 2007)

1.7 Calidad de café y los servicios ecosistémicos

Las plantaciones de café son consideradas las más relevantes a nivel del mundo y los SAF son acogidos por los beneficios que brindan ya sean económicos o sostenibles, si hablamos de identificar a través de mapas es un gran desafío, según estudios se observó que los SAF que tiene densidad y variedad de especies, la precisión de mapeo es menor <0.5 , mientras si se analiza por medio de métodos no paramétricos tiene una precisión alta de 0.75 (Escobar *et al.*, 2024). Además, podemos mencionar que el cambio climático afecta de manera significativa a los SAF, por lo cual necesita adoptar prácticas como es la agroforestería para controlar los efectos y mejorar la estructura (Raj *et al.*, 2020). Asimismo, en el Primer Congreso Mundial de Agroforestería Montagnini (2005), menciona que es importante demostrar como el diseño y el manejo de los Sistemas Agroforestales, ayudan a que se puedan convertir en sumideros de carbono como también en protectores de la biodiversidad, con eso se reduce la presión en los bosques naturales.

Los SAF son estrategias que combinan dos partes la agricultura y la forestación, lo que

contribuye atributos físicos y químicos al suelo, siendo esto importante para los cultivos de *Coffea arabica*, la diversidad de las especies en los SAF tiene un impacto positivo en la calidad de las plantaciones de café, como un buen crecimiento y con ellos altos puntajes en aroma, sabor entre otros parámetros (Olivia *et al.*, 2024). Con ayuda de la biotecnología se ha mejorado el café en varios campos siendo así que este satisface las demandas que tiene este producto en el mercado global (Akula *et al.*, 2023). Asimismo, los SAF a más de mejorar la calidad del café, combaten los efectos negativos que tiene el cambio climático, produciendo microclimas que son los adecuados para el cultivo y la retención de agua (Duarte *at al.*, 2025)

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Tipo de investigación

La presente investigación se trató sobre la Evaluación del crecimiento de tres variedades de *Coffea arabica* L. bajo sistemas agroforestales en la Provincia de Imbabura, Ecuador. Por lo cual, se empleó un enfoque cuantitativo, que permitió una recolección de datos numéricos sobre las variables claves a estudiar que son: altura, diámetro de copa, diámetro basal y costos de establecimiento del sistema, el análisis de sobrevivencia y estado fitosanitario. La aspiración de investigación fue de tipo aplicado, ya que se basó en fundamentos teóricos existentes para generar resultados concretos que permitieran comprender el comportamiento de las variedades de café dentro del contexto agroforestal. Su alcance fue explicativo ya que se encontró una relación de efecto entre las variedades y los sistemas agroforestales. Se efectuó un diseño experimental, donde las variedades fueron manipuladas al momento de realizar su establecimiento para ejecutar comparaciones más efectivas. La toma de datos fue transversal o sincrónica, ya que se realizó en un solo año, lo que ayudó al análisis instantáneo del crecimiento inicial del café. Finalmente, el proyecto se realizó en un entorno de campo, lo cual permitió la observación directa del crecimiento de las plantas y la interacción que tiene con los sistemas agroforestales.

2.2. Ubicación del lugar

Este estudio se llevó a cabo en dos lugares: En el Campus Experimental “Yuyucocha”, que se encuentra situado en la parroquia de Caranqui, en el cantón Ibarra. Y en la parroquia de San Francisco de Natabuela, en el cantón Antonio Ante. Ambos sitios se encuentran en la provincia de Imbabura.

Sitio I

- Coordinadas Campus Experimental “Yuyucocha”

Latitud N: 00° - 21' - 53''

Latitud W: 78° - 06' - 32''

Altitud: 2228 msnm.

Sitio II

- Coordenadas Natabuela

Latitud N: 00° - 20' - 8,86''

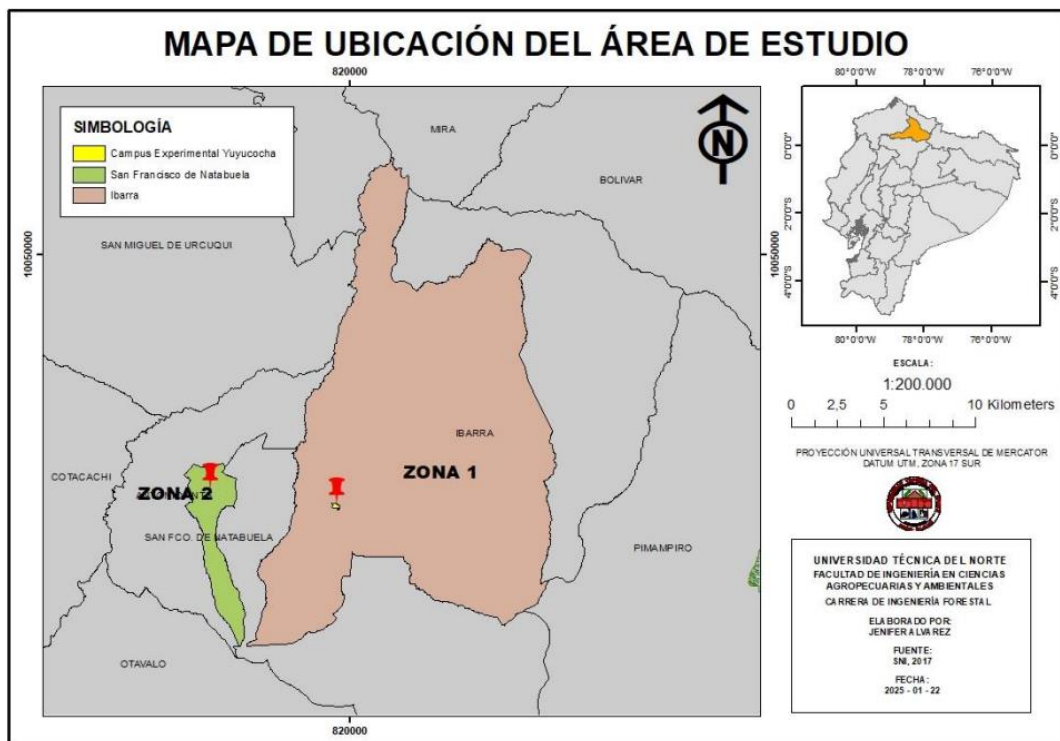
Latitud W: 78° - 11' - 38,54''

Altitud: 2391 msnm

- **Mapa**

Figura 1

Ubicación del Campus Yuyucocha y Natabuela



Fuente: ArcGIS, 2024

- **Límites**

Sitio I

El Campus Experimental Yuyucocha, ubicada en la provincia de Imbabura, el área limita al norte con viviendas en la calle Armando Hidrobo, al este con la Av. Cap. José Espinoza de los Monteros y la calle Hno. Miguel, al sur con la calle Flores Rúaales y al oeste con una quebrada seca (Guevara y Pozo, 2019).

Sitio II

La parroquia San Francisco de Natabuela del Cantón Antonio Ante, ubicada en la provincia de Imbabura, limita al norte con la parroquia Andrade Marín, al sur con la parroquia San José de Chaltura, al este con la parroquia San Roque y al oeste con la parroquia San Antonio de Ibarra (Gonzalon, 2024).

2.3. Caracterización edafoclimática del lugar

Los suelos de la Granja Experimental Yuyucocha son franco – arenoso, porosos que contiene un pH neutro y de topografía plana (Enríquez, 2015), con referencia al clima esta presenta una temperatura promedio de aproximadamente 17,70 °C y, una precipitación promedio anual de 745,40 mm y un 72% de humedad relativa (Vélez, 2017).

Los suelos de Natabuela son franco - arenoso, con referencia al clima, esta presenta una temperatura promedio de aproximadamente 15,7°C, una precipitación promedio anual de 714,4 mm y un 75% de humedad relativa (Garzón, 2019).

2.4. Materiales, equipos y software

Los materiales de campo y software que fueron utilizados en el desarrollo de la investigación están descritos en la Tabla 1.

Tabla 1

Materiales de campo, equipo y software que fueron utilizados en el desarrollo de la investigación

Materiales de campo	Equipos	Software
Plántulas de <i>Coffea arabica</i> L.	Luxómetro	Office 365
Fertilizante	Flexómetro	Infostat versión libre de acceso a estudiantes
Carretilla	Calibrador	ArcGIS
Azadón	Cámara	
Pala	Computador	
Manguera	Calculadora	
Libreta de campo		
Pirola		
Cinta métrica		

2.5. Métodos, técnicas e instrumentos.

2.5.1. Diseño experimental:

Se empleó un diseño de bloques al azar con un arreglo bifactorial.

– Factores a estudiar

Los principales factores en este proyecto son las tres variedades de *Coffea arabica* L. y los sistemas agroforestales

– Niveles de los factores

Factor A. (Variedades de Cafeto)

- Variedad 1: Caturra Rojo

- Variedad 2: Bourbon Cidra
- Variedad 3: SL – 28

Factor B. (Sistemas agroforestales)

- Sistema Agroforestal con espino (*Vachellia macracantha* Humb. & Bonpl. ex Willd.)
 - Sistema Agroforestal con aliso (*Alnus acuminata* Kunth)
 - Sistema Agroforestal con nogal (*Juglans neotropica*)
- **Esquema del experimento**

Se empleó un Diseño de Bloques al Azar con un arreglo bifactorial.

Tabla 2

Diseño de Bloques al Azar con un arreglo bifactorial.

Variable	Cantidad
No de variedades	3
No de sistemas agroforestales	3
No de bloques	4
No de U. E	36
No de plantas por U.E	12
No plantas por sistema	144
No de plantas por variedad	144
No plantas totales	432

Nota: Este diseño permitió controlar la variabilidad entre bloques, minimizando sesgos y obteniendo resultados representativos.

Se evaluaron nueve interacciones:

- Sistema agroforestal Espino x Caturra Rojo.
- Sistema agroforestal Espino x Bourbón Cidra
- Sistema agroforestal Espino x SL – 28.
- Sistema agroforestal Aliso x Caturra Rojo.
- Sistema agroforestal Aliso x Bourbón Cidra
- Sistema agroforestal Aliso x SL – 28.
- Sistema Agroforestal Nogal x Caturra Rojo.
- Sistema Agroforestal Nogal x Bourbón Cidra
- Sistema Agroforestal Nogal x SL – 28.

- **Distribución de tratamientos en el campo**

Sistema 1 – Espino (SE)

3. PGoBS	4. PIbCR	9.PGuSL28	10. PIbCR
2.PGuSL28	5. PGoBS	8. PIbCR	11. PIbCR
1. PGoBS	6.PGuSL28	7. PGoBS	12. PGuSL28

Sistema 2 – Aliso (SA)

3. PIbCR	4. PGoBS	9. PGoBS	10. PGuSL28
2. PGoBS	5.PGuSL28	8.PGuSL28	11. PIbCR
1. PGoBS	6. PIbCR	7. PIbCR	12. PGuSL28

Sistema 3 – Nogal (SN)

2. PGoBs	4.PGuSL28	6. PIbCR	8.PGuSL28	10.PGuSL28	12. PIbCR
1. PGoBS	3. PIbCR	5.PGuSL28	7. PIbCR	9. PGoBs	11. PGoBs

- **Modelo estadístico del experimento**

En la presente investigación se analizaron tres Variedades de *Coffea arabica* L. bajo diferentes sistemas agroforestales utilizando un Diseño de Bloques al Azar con un arreglo bifactorial, esto nos permitió evaluar de manera simultánea los efectos que tiene las variedades

de cafeto y el efecto del sistema agroforestal, en su adaptabilidad.

Se analizó utilizando la siguiente ecuación que representa al modelo bifactorial:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha + \theta + \alpha * \theta + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij}: Observación individual.

μ: Media común

β_j: Efecto de bloque.

ε_{ij}: Error experimental.

α: Efecto de la variedad del cafeto.

θ: Efecto del sistema agroforestal

α θ: Interacción α x θ

- **Diseño de las matrices para el registro de los datos primarios de los tres sistemas agroforestales**

Tabla 3. Diseño de la matriz para el registro de datos primarios

Fecha de Registro:							
Tratamiento	Réplica	Individuo	Altura	Diámetro de copa	Diámetro basal	Nº plantas vivas	Estado fitosanitario

Fuente: El autor

2.5.2. Instalación del experimento.

- **Definición de los sitios**

- Se seleccionó tres sitios que tuvieron características agroforestales específicas dentro del Campus Experimental Yuyucocha (espino y aliso) y Natabuela (nogal), esta selección se basó en criterios como fueron; especies, altitud, condiciones climáticas predominantes que fueron

representativas en los sistemas agroforestales

- **Delimitación y preparación del ensayo**

- Ubicación de las parcelas: Se realizó parcelas dentro de los 3 sistemas agroforestales, cada una de ellas con una dimensión adecuadas para asegurar así una distribución correcta de las plantas

- **Tamaño de las parcelas:**

- Plantación de Espino: 25m x 16m

- Plantación de Aliso: 21m x 16m

- Plantación de Nogal: 30m x 4 m

- **Instalación de las parcelas**

- Las parcelas fueron delimitadas con el uso de una cinta métrica y estacas donde se garantizó que las medidas de cada una sean precisas. Antes de realizar la plantación se efectuó una limpieza en el terreno, lo que aseguró una distribución de las plantas.

Posterior a ellos, se marcaron las filas y se calculó el espaciamiento adecuado entre cada planta.

En cada unidad experimental se ubicaron 12 plantas de cafeto de la misma variedad, y así sucesivamente con las demás variedades, lo que garantizó una distribución uniforme en cada una de las parcelas

- **Hoyado y Plantación ver Anexo 1**

- Hoyado: Se realizó hoyos de aproximadamente 40 cm de profundidad para todas las plántulas, en cada unidad sitio.

- Fertilización: Se aplicó un fertilizante completo en todas las plántulas

- Plantación: Las plántulas fueron plantadas según el diseño de bloques completamente al azar con arreglo bifactorial a un distanciamiento aproximado de 1 m x 1 m

- **Mantenimiento del experimento**

- Riego: Se incorporó riego manual en cada uno de los sitios para que las plantas tuvieran agua suficiente para su óptimo desarrollo

- Control de maleza: Se realizó una limpieza para mitigar la competencia por recursos indispensables para el crecimiento

- **Control de variables externas:** Para garantizar la fiabilidad de los resultados se tomaron en cuenta las siguientes variables externas:

- Sequía: se realiza el riego por gravedad para mitigar la falta de agua

- Crecimiento de maleza: Se realizaron 5 limpiezas para evitar la competencia por elementos importantes como son los nutrientes y el agua

- Plagas y enfermedades: Se llevó a cabo un monitoreo constante para identificar las plagas y enfermedades y las causas de las mismas

- Ramoneo: Se instalaron cercas que protegieron los sistemas y se socializó a las personas sobre la importancia del estudio para prevenir daños accidentales o intencionales.

- **Toma de datos**

- Se programó la toma de datos para la evaluación del crecimiento de las plantas una vez por mes, durante un año

2.6. Variables de estudio

Objetivo 1

- **Evaluar el porcentaje de sobrevivencia de las tres variedades de *Coffea arabica* L.**

Variables

- **Número de plantas muertas:** Se determinó el número de plantas muertas con un examen visual cualitativo, utilizando parámetros como síntomas y signos propios de la muerte de la planta, como son color anormal en las hojas, marchitez, caída excesiva de las hojas, tallos

quebradizos y ausencia de brotes nuevos.

- **Número de plantas vivas:** Se determinó el porcentaje de sobrevivencia por medio del conteo total de las plantas vivas y muertas en cada tratamiento. Se tomó en cuenta como población inicial las plantas sembradas por primera vez, es decir 12 plantas por unidad experimental (Ecuación 1). Según Linares (2005), la fórmula propuesta para determinar la sobrevivencia es:

$$\%Sv = \frac{n^{\circ} \text{ plantas vivas}}{n^{\circ} \text{ total de plantas sembradas}} \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

%Sv: Porcentaje de sobrevivencia de las plantas

Objetivo 2

- **Analizar el crecimiento de las variedades bajo los sistemas agroforestales**

- **Altura de plántula:** Se midió la altura longitudinal que se encuentra comprendida entre la base del cuello hasta el ápice de la planta, utilizando un flexómetro graduado en centímetros (cm), para evitar posibles desviaciones en la toma de medidas, se clavó una estaca referencial a 5 cm de distancia al lado derecho de cada planta en sentido Norte – Sur.

- **Diámetro de copa:** Se midió la distancia entre los extremos de la copa en dos direcciones utilizando un flexómetro. Se calculó el promedio entre el diámetro mayor y menor, expresado en centímetros (cm).

- **Diámetro basal:** Se utilizó el pie de rey o calibrador, el cual fue previamente ajustado y calibrado en milímetros (mm). Como referencia, se tomó la estaca que se colocó para tomar datos de altura.

- **Estado fitosanitario:** La técnica que se empleó para este proceso es la observación directa de las plantas. La cuantificación se realizó según el grado de afectación que presentó la planta por factores bióticos (insecto, patógenos, etc.) y factores abióticos (humedad, luz, etc.) (Tabla 4)

Tabla 4.

Código fitosanitario

Código	Estado fitosanitario
A – 1	Ápice y yemas axilares presentan síntomas de enfermedad, causado por el ataque de hongos, insectos y/o deficiencias nutricionales.
B – 2	Ápice y yemas axilares no presenta síntomas de enfermedad, causado por el ataque de hongos, insectos y/o deficiencias nutricionales

Fuente: (Calvillo *et al.*, 2001).

Objetivo 3

- **Determinar costos del establecimiento del sistema.**
- **Costos de establecimiento y manejo:**

Para determinar los costos de establecimiento y manejo del primer año de la plantación de *Coffea arabica* L. se empleó la metodología adaptada por Hernández (2017), en la cual se registraron todas las actividades, desde la preparación del terreno hasta el manejo durante su crecimiento (Tabla 5)

Tabla 5*Actividades para determinar los costos de establecimiento y manejo.*

Actividad	Descripción	Recurso/Insumo	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
Preparación del terreno	Limpieza	Guadaña Mano de obra (jornal)			
Delimitación	Medición y marcación de parcelas	Cinta métrica Piola Mano de obra (jornal)			
Hoyado	Excavación de hoyos para las plantas	Pala Azadón Mano de obra(jornal)			
Fertilización	Aplicación de fertilizante completo	Fertilizante (kg) Mano de obra (jornal)			
Transporte de plántulas	Costo de transporte	Camioneta			
Plantación	Plantación de las plántulas	Plántulas (unidades) Mano de obra (jornal) Carretilla			
Mantenimiento del sistema	Riego y control de maleza	Guadaña Machete Azadón Mano de obra (jornal) Combustible (litros)			
Total					

Fuente: (Hernández, 2017)

Se llevó a cabo una comparación descriptiva de costos de los tres sistemas agroforestales en base a la Tabla 5, donde se evaluaron los rubros como son: Preparación de terreno, delimitación,

hoyado, fertilización, transporte de plántulas, plantación y mantenimiento del sistema, conociendo su viabilidad técnica.

2.7. Procedimiento y análisis de datos.

- Se realizó las siguientes pruebas estadísticas:

- **Comprobación de Supuestos**

- **Normalidad:** Se empleó la prueba de Shapiro-Wilk para determinar si los datos siguen una distribución normal.

- **Homogeneidad de Varianzas:** Se aplicó la prueba de Levene, para determinar la Homocedasticidad de los datos

- **Análisis estadístico**

- **Análisis de Varianzas (ANOVA):** Si se cumplieron los supuestos, se empleó para determinar si existen diferencias significativas entre las variedades de cafeto, entre los sistemas agroforestales y las interacciones entre sistema agroforestal y variedad

- **Prueba Post Hoc:** Se empleó la prueba de Tukey para establecer cuáles son los grupos diferentes

- **Prueba Kruskall Wallis:** Se empleó la prueba no paramétrica para la variable del estado fitosanitario ya que es una variable categórica

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Porcentaje de sobrevivencia de las tres variedades de *Coffea arabica* L.

3.1.1 Número de plantas muertas

Realizado el análisis de varianza se tiene un p-valor superior al nivel de significancia (>0.05) esto indica que no existe diferencias significativas entre los tratamientos mostrados en la Tabla 6.

Tabla 6.

Análisis estadístico para número de plantas muertas

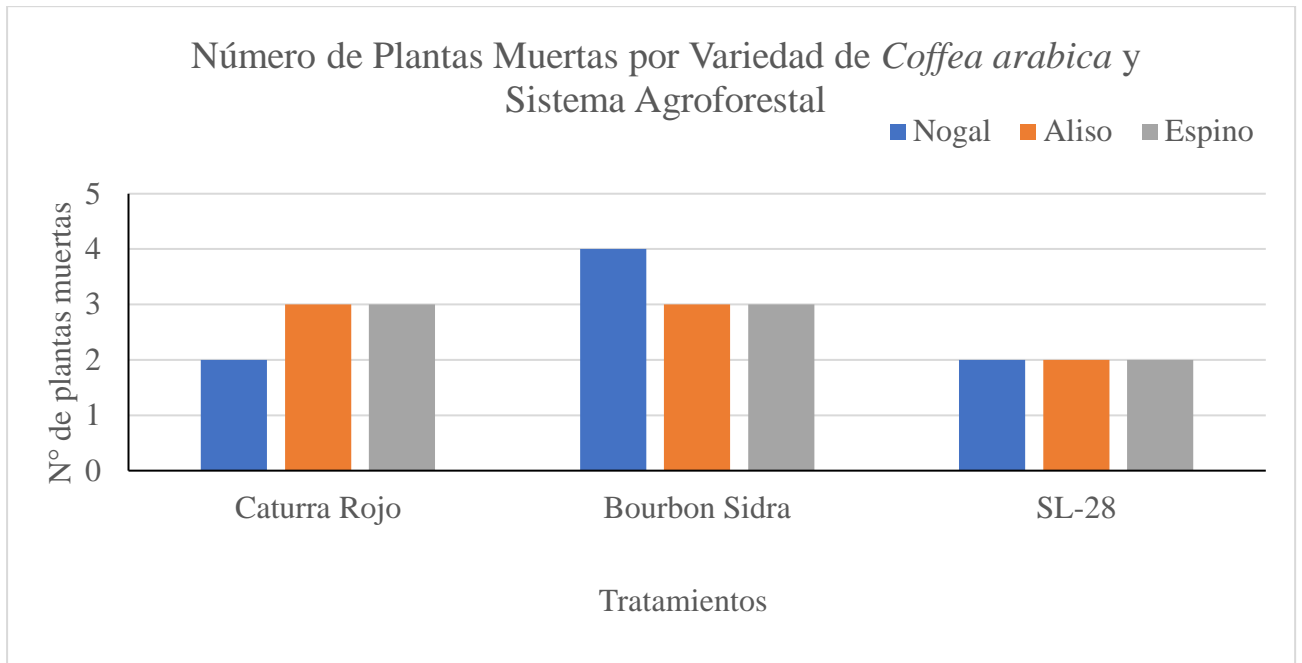
Prueba de supuestos y calidad de modelo	Resultados
Shapiro-Wilks	0,0828
Levene	0,3086
p-valor sistema	$>0,9999$
p-valor tratamiento	0,1111
CV	21
R2	67%

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

En la Figura 2 se presenta los resultados sobre el número de plantas muertas de tres variedades de *Coffea arabica* bajo sistemas agroforestales, lo que indica que la variedad bourbon sidra tuvo mayor número de plantas muertas (10) , mientras que caturra rojo (8) y SL-28 (6)

Figura 2

Distribución de N° de plantas muertas por Variedad de Coffea arabica bajo Sistemas Agroforestales



Los resultados que se obtuvieron proponen que el sistema agroforestal de aliso y espino es más favorable para la sobrevivencia de la variedad Bourbon Sidra, por otra parte las variedades Caturra Rojo y SL-28 no presentan diferencias significativas en el contexto de mortalidad entre los tres sistemas agroforestales evaluados.

Según estudios realizados por MOCCA (2022), la variedad Bourdon Sidra tiene menor tolerancia a condiciones climáticas extremas, lo que es más propenso al estrés hídrico y térmico. Esto coincide con el presente estudio ya que esta variedad presenta el mayor número de plantas muertas, porque las condiciones mencionadas por MOCCA estuvieron presentes en los sistemas evaluados (altas temperaturas, reducción de humedad, mayor evaporación del agua del suelo). Así mismo, estudios realizados por Espinoza *et al.* (2013) mencionan que la variedad Caturra Rojo tiene un sistema radicular eficiente y las características morfofisiológicas ayudan a su adaptación a campo, cuando se realiza un buen manejo en las raíces durante la fase de establecimiento, esto coincide con el presente estudio donde se observa una mortalidad

moderada de la variedad caturra rojo ya que al contar con un sistema radicular bien desarrollado por su buen manejo en la etapa de establecimiento las plantas pudieron adaptarse mejor a las condiciones de los Sistemas, manteniendo una tasa de mortalidad estable.

3.1.2 Número de plantas vivas

Realizado el análisis de varianza se tiene que un p-valor superior al nivel de significancia (>0.05) esto indica que no existe diferencias significativas entre los tratamientos mostrados en la Tabla 7

Tabla 7

Análisis estadístico para número de plantas vivas (%Sobrevivencia)

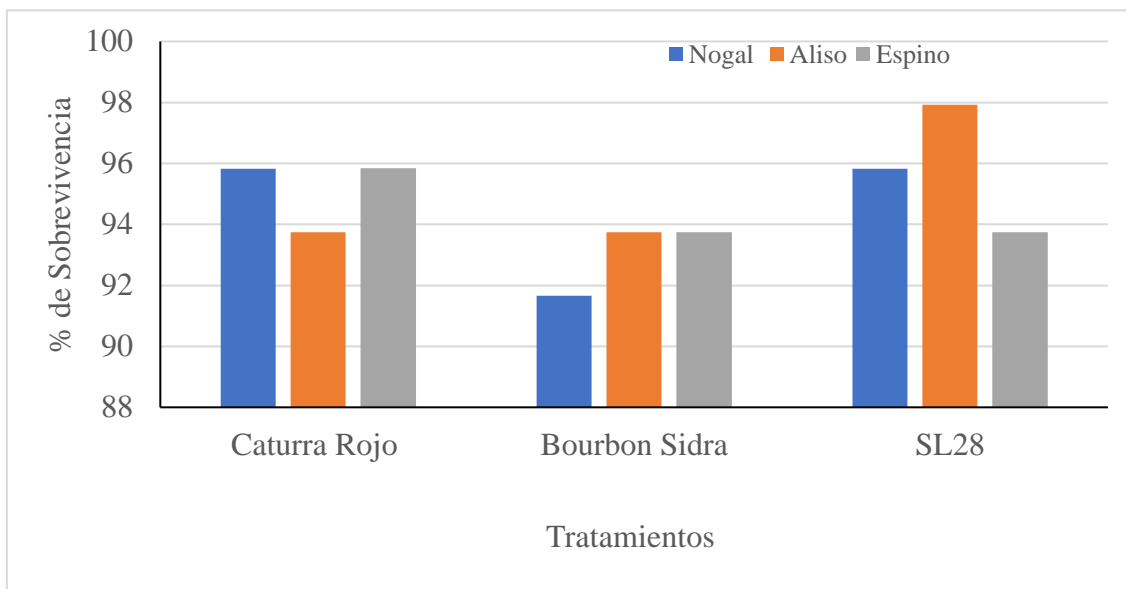
Factor A	Media
SL-28	95,83
CR	95,14
BS	93,06
p- valor	0,8594

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

En la Figura 3 se muestra los resultados sobre el porcentaje de sobrevivencia donde el mayor porcentaje se registró en la variedad SL28 bajo el SAF Aliso con el 95,83%, con contraste el porcentaje menor observado es el de bourbon sidra bajo el SAF nogal, con el 93,06%, las demás interacciones muestran un rango intermedio en los resultados.

Figura 3

Porcentaje de sobrevivencia de tres variedades de Coffea arabica bajo sistemas agroforestales



La sobrevivencia de las variedades dependen de las características genéticas como también de las condiciones que ofrecen cada SAF, la variedad SL28 conocida por la resistencia que tiene a las condiciones extremas (sequías y manejo natural) y su adaptación a altitudes medias y bajas responde de forma positiva a la sombra moderada, esto explica su alta sobrevivencia en el SAF con aliso.

Por su parte Sebuliba *et al.* (2021), señala que el SAF con aliso mejora la estructura del suelo ya que es una especie que fija nitrógeno enriqueciendo el suelo con este nutriente y promoviendo el desarrollo saludable del café esto coincide con los resultados de mi investigación ya que en el SAF con aliso se evidenció mayor sobrevivencia de las plantas en especial de la variedad SL28 debido a que las condiciones edáficas fueron mejoradas por el aporte del nitrógeno favoreciendo al crecimiento radicular lo cual es especialmente beneficioso para esta variedad.

Asimismo, Farfán (2020) menciona que los árboles de nogal tienen raíces muy fuertes y compiten por agua y nutrientes lo que afecta especialmente a la variedad Bourbon Sidra, esto coincide con los resultados expuestos ya que la variedad antes mencionada tuvo mayor cantidad de plantas muertas en ese sistema y con ello un porcentaje de sobrevivencia menor, esto se debe porque en el sistema no se presentaron condiciones ambientales equilibradas (sombra) y la variedad no tolera la falta de agua lo que es más vulnerable en sistemas con mayor competencia.

3.1.3 Crecimiento de las variedades bajo los sistemas agroforestales

3.1.4 Crecimiento en altura

Realizado los análisis estadísticos mostrados en la Tabla 8, se obtuvo que la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk da como resultado 0,4253 indicando que los datos siguen una distribución normal, luego tenemos el resultado de Levene con un p-valor de 0,8142 lo que afirma que las varianzas son homogéneas, finalmente el análisis de varianza cuyos resultados indican que existe diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos, con un 96% de

variabilidad y un CV del 4,40% que indica una alta precisión experimental.

Tabla 8

Validación del modelo estadístico para la variable Altura

Prueba de supuestos y calidad de modelo	Resultados
Shapiro-Wilks	0,4253
Levene	0,8142
p-valor bloque	0,0097
p-valor sistema	<0,0001
p-valor tratamiento	<0,0001
p-valor tratamiento*sistema	0,1063
CV	4,40
R2	96%

La Tabla 9 muestra los resultados de la interacción de los sistemas con las variedades estudiadas, en la variable altura donde la variedad más efectiva fue caturra rojo en el sistema con aliso ya que se obtuvo una media de 39,42 que lo posicionó en el grupo A según la clasificación de la prueba estadística de Tukey, por otro lado las tres variedades que se encuentran en el sistema con nogal presentaron medias de bajas que oscilan entre 24 y 26 cm agrupándose en el grupo D como los menos efectivos.

Tabla 9

Interacciones entre de los sistemas y tratamiento en la altura (cm)

Sistema	Tratamiento	Medias	Grupos		
SA	CR	39,42	A		
SE	CR	38,96	A		
SA	BS	38,62	A	B	
SE	BS	38,2	A	B	
SA	SL28	35,17		B	C
SE	SL28	33,48			C
SN	BS	26,7			D
SN	CR	25,7			D
SN	SL28	24,33			D

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

En la Figura 4, 5 y 6 se presentan los resultados de crecimiento en altura de las tres variedades de *Coffea arabica* (bourbon sidra, caturra rojo y SL28) bajo SAF con espino, aliso

y nogal.

Figura 4

Crecimiento en altura de Coffea arabica en el Sistema Aliso

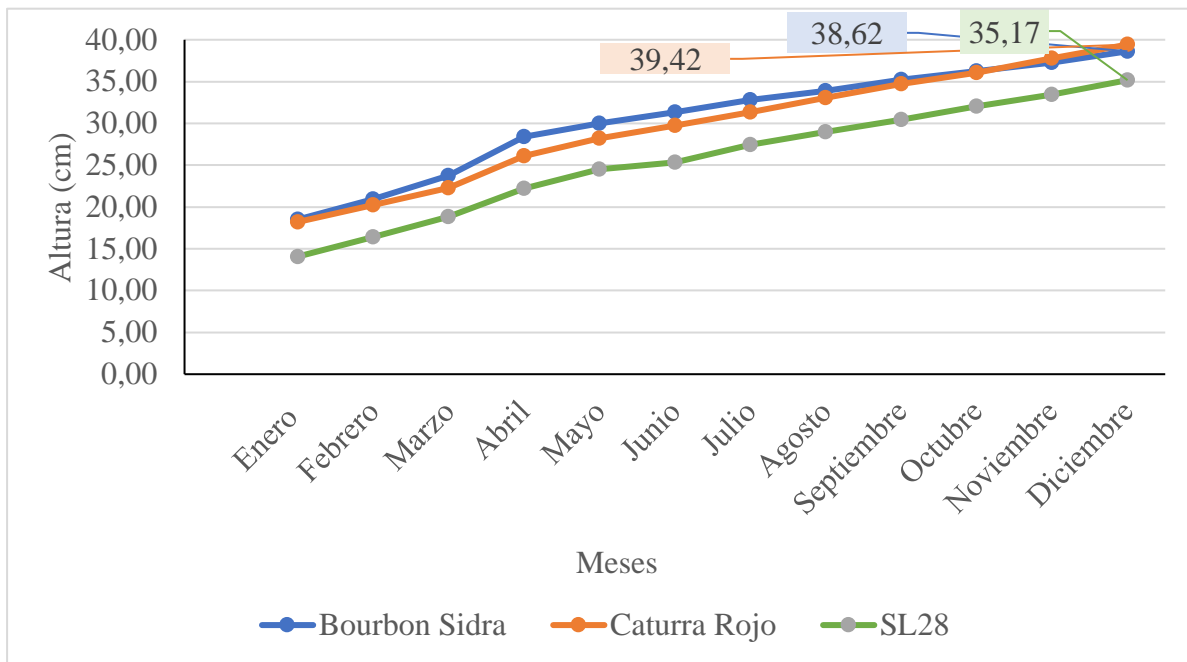


Figura 5

Crecimiento en altura de Coffea arabica en el Sistema Espino

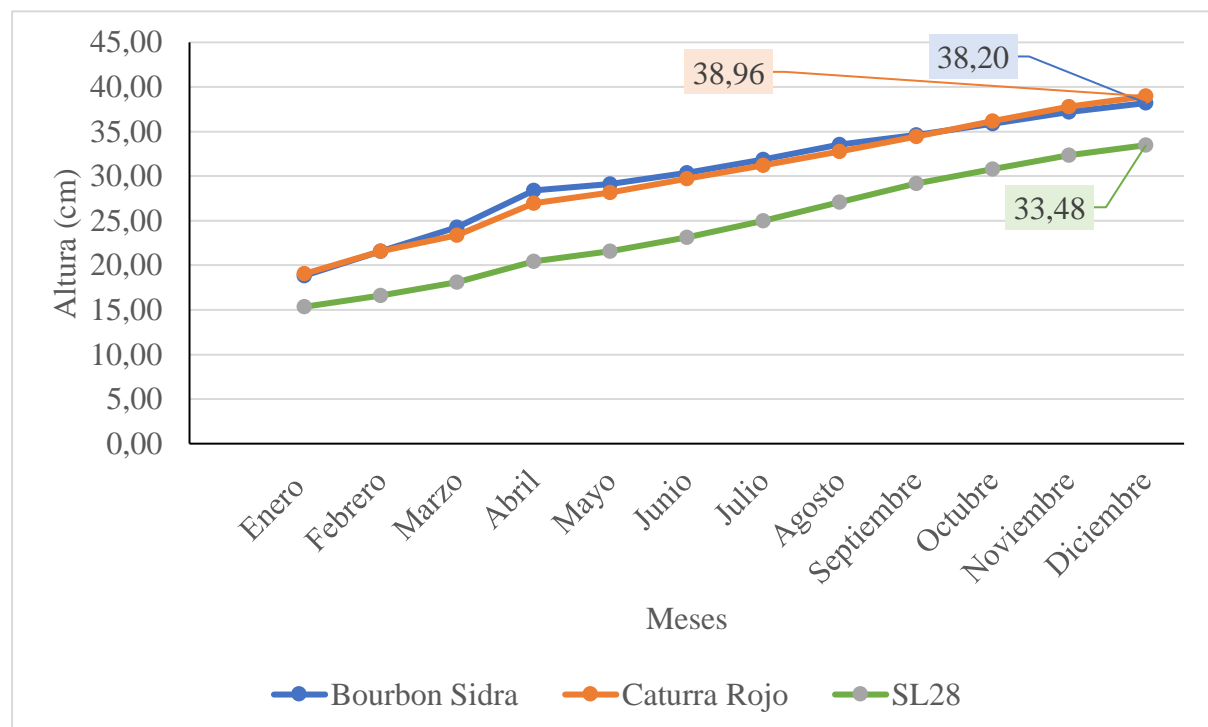
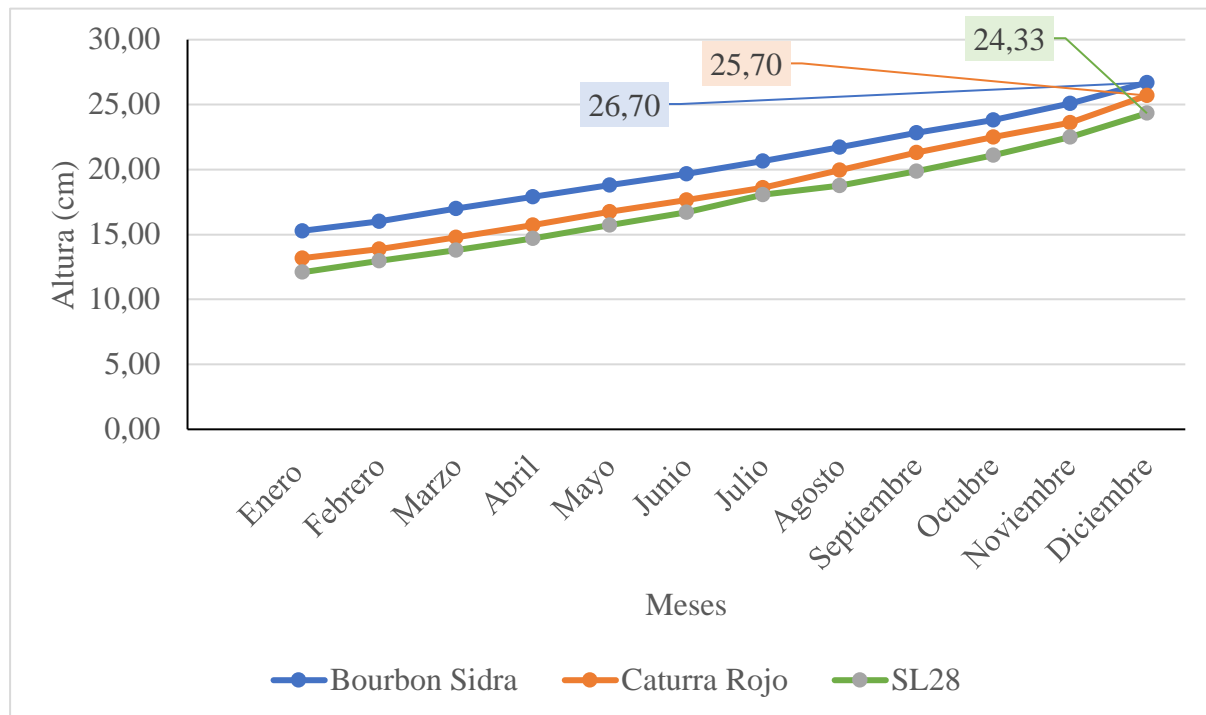


Figura 6

Crecimiento en altura de Coffea arabica en el Sistema Notal



La variedad caturra rojo mostro un mejor comportamiento en altura en el SAF con Aliso esto por su disponibilidad de humedad y nutrientes en el suelo, ya que esta especie (aliso) forma una simbiosis con la bacteria del género *Frankia* que fija nitrógeno atmosférico y mejora la fertilidad del suelo, esto favoreció al desarrollo fisiológico de caturra rojo, reflejado su desarrollo en altura

Según Espinoza *et al.* (2013), la variedad caturra rojo tiene una arquitectura flexible lo que le permite ajustarse a su crecimiento vertical en relación con la disponibilidad de la luz, además un mayor crecimiento de entrenudos esto coincide con el presente estudio ya que esta variedad presento mayor altura en el SAF con aliso, aunque este no presente una sombra densa crea un entorno de cobertura parcial de luz activando la respuesta morfológica y su capacidad de desarrollo de entrenudos para aprovechar la disponibilidad de luz, asimismo Rodríguez (2022) menciona el efecto positivo del aliso porque forma una simbiosis para fijar nitrógeno que favorece al desarrollo fisiológico del cafeto, esto coincidiendo con el presente estudio ya

que con la presencia de este nutriente mejora la fertilidad del suelo y acelera sus procesos fisiológicos y en consecuencia su crecimiento en altura.

3.1.5 Diámetro de copa

Realizado los análisis estadísticos mostrados en la Tabla 10 se obtuvo que la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk da como resultado un p-valor de 0,445 indicando que los datos siguen una distribución normal, luego tenemos el resultado de Levene con un p-valor de 0,824 lo que afirma que las varianzas son homogéneas, finalmente el análisis de varianza cuyos resultados indican que existe diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos, con un 86% de variabilidad y un CV del 4,94% que indica una alta precisión experimental.

Tabla 10

Validación del modelo estadístico para la variable Diámetro de copa

Prueba de supuestos y calidad de modelo	Resultados
Shapiro-Wilks	0,445
Levene	0,2824
p-valor bloque	0,0022
p-valor sistema	<0,0001
p-valor tratamiento	0,8335
p-valor tratamiento*sistema	0,3133
CV	4,94
R2	86%

Realizado el análisis estadístico, los resultados muestran que el sistema con espino (SE) y el sistema con aliso (SA) presentan un mejor rendimiento en interacción con las variedades caturra rojo (CR), bourbon sidra (BS) y SL28, con medias que varían entre 31,46 y 32,62 cm. En contraste, el sistema con nogal (SN) presentó los rendimientos más bajos, especialmente con las variedades SL28 y caturra rojo, ambas clasificadas en el grupo B como se muestra en la Tabla 11

Tabla 11

Interacciones entre de los sistemas y tratamiento en el diámetro de copa (cm)

Sistema	Tratamiento	Medias	Grupo
SE	CR	32,62	A
SA	BS	32,32	A
SE	SL28	31,9	A
SA	SL28	31,79	A
SE	BS	31,46	A
SA	CR	30,42	A
SN	BS	26,37	B
SN	CR	26,09	B
SN	SL28	25,58	B

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

En las Figuras 7, 8 y 9 se presentan los resultados del crecimiento del diámetro de copa de tres variedades de *Coffea arabica* (bourbon sidra, caturra rojo y SL28) bajo sistemas agroforestales con espino, aliso y nogal

Figura 7

Crecimiento del diámetro de copa en variedades de Coffea arabica en el Sistema Espino

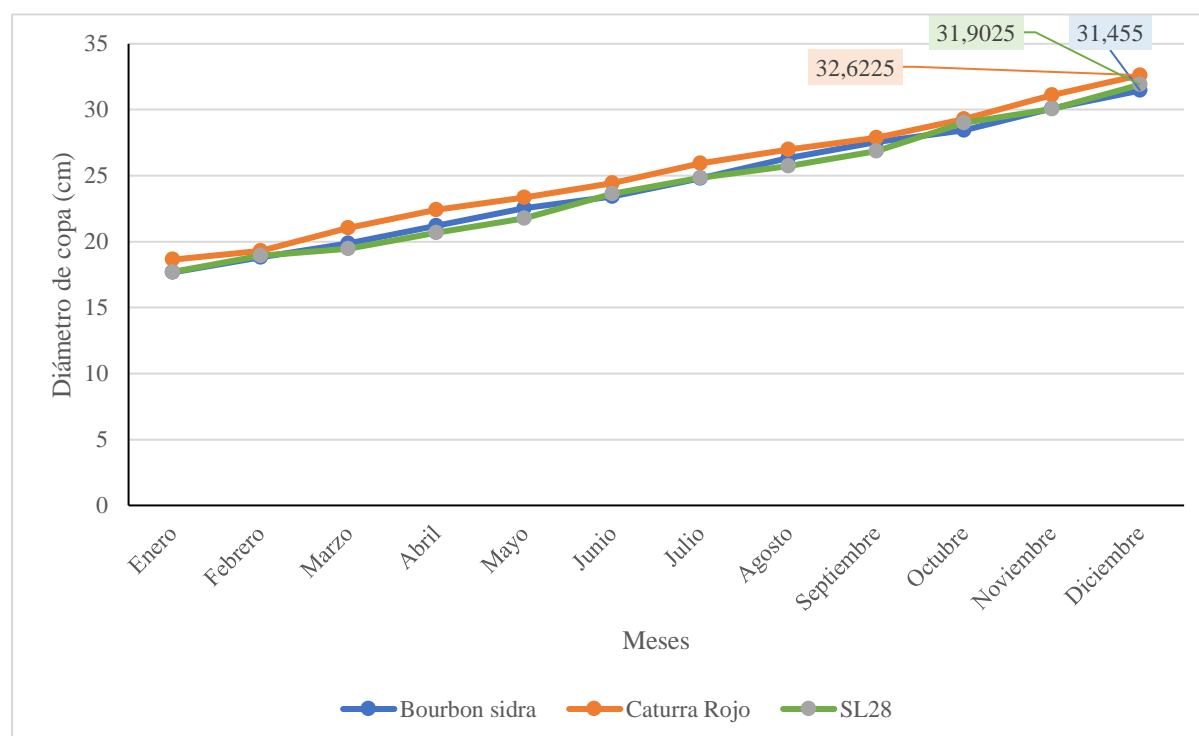


Figura 8

Crecimiento del diámetro de copa en variedades de Coffea arabica en el Sistema Aliso

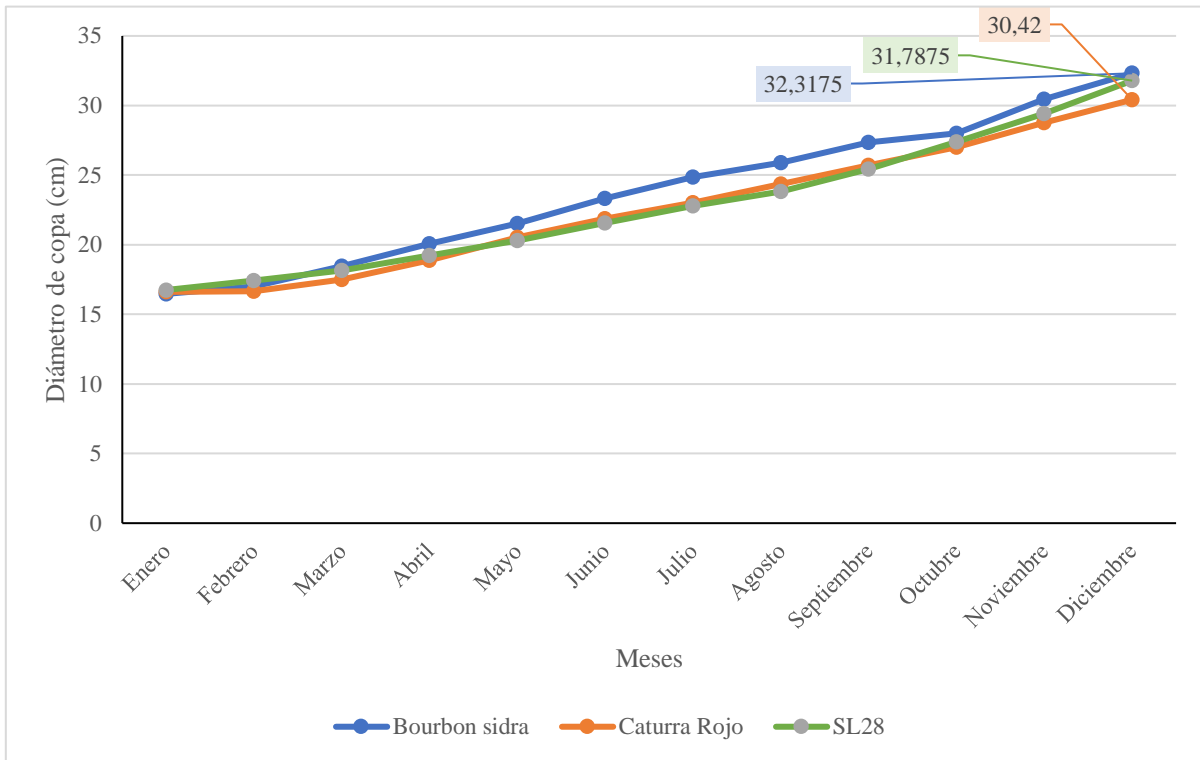
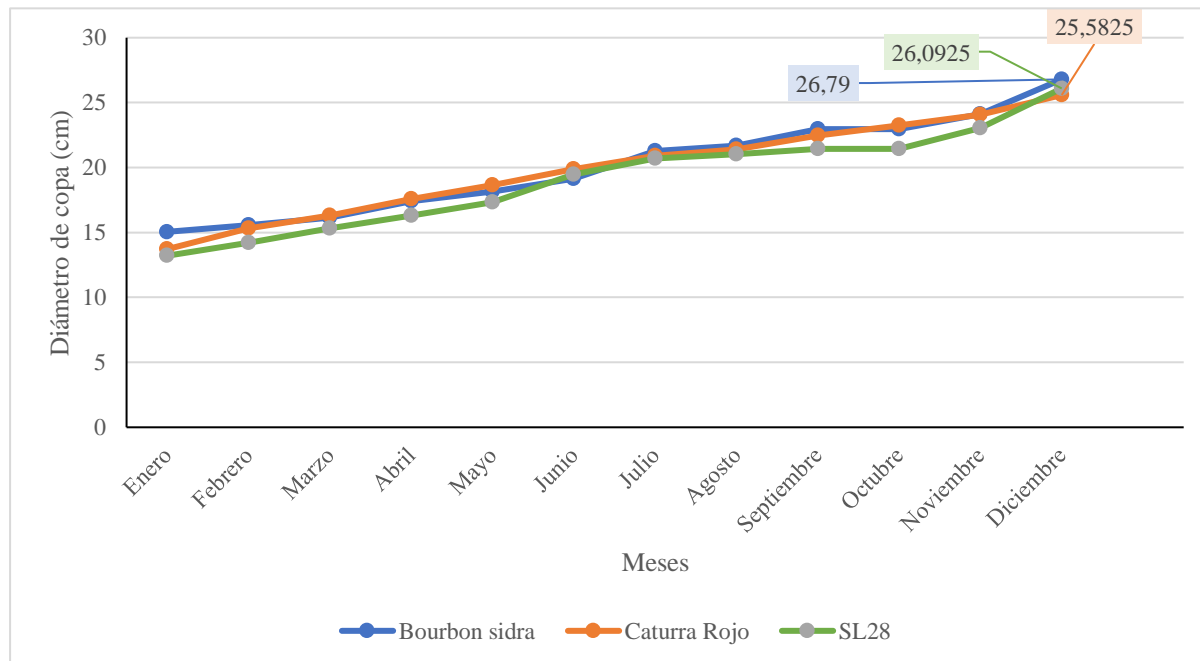


Figura 9

Crecimiento del diámetro de copa en variedades de Coffea arabica en el Sistema Nogal



El diámetro de copa nos indica que capacidad tiene la planta para adquirir luz y con ellos realizar la fotosíntesis. El crecimiento mayor fue de la variedad caturra rojo que se le atribuye a que la estructura de la copa es más abierta, en el sistema con espino el cual contiene una sombra distribuida permitiendo así una penetración de la luz difusa,

Julca *et al.* (2016), menciona que esta variedad caturra rojo tiene características genéticas adecuadas coincidiendo con el presente estudio, ya que tuvo mayor crecimiento en diámetro de copa, esto porque permite una mayor expansión foliar y con ellos un crecimiento más pronunciado, asimismo el SAF con espino se alinea con los hallazgos expuestos por Ruiz *et al.* (2020), donde menciona que los SAF con la sombra ligera ayuda a la expansión de la copa en las plantaciones de cafeto y así ayuda a su proceso de fotosíntesis, esto coincidiendo con el presente estudio ya que el espino no limita la luz sino que la modula permitiendo una alta tasa de fotosíntesis y con ello el desarrollo de la copa más amplia.

3.1.6 Diámetro basal

Realizado los análisis estadísticos mostrados en la Tabla 12 se obtuvo que la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk da como resultado un p-valor de 0,408 indicando que los datos siguen una distribución normal, luego tenemos el resultado de Levene con un p-valor de 0,119 lo que afirma que las varianzas son homogéneas, finalmente el análisis de varianza cuyos resultados indican que existe diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos, con un 79% de variabilidad y un CV del 4,67% que indica una alta precisión experimental.

Tabla 12*Validación del modelo estadístico para la variable Diámetro basal*

Prueba de supuestos y calidad de modelo	Resultados
Shapiro-Wilks	0,408
Levene	0,119
p-valor bloque	0,1747
p-valor sistema	<0,0001
p-valor tratamiento	0,5393
p-valor tratamiento*sistema	0,0003
CV	4,67
R2	79%

Realizado la prueba estadística de Tukey en la Tabla 13 nos muestra que la variedad caturra rojo (CR) con la interacción en el sistema espino (SE) obtuvo un mayor promedio con 6,13 cm en diámetro basal siendo así el único clasificado en el grupo A lo que lo posiciona como la mejor interacción. Por otro lado, en sistema aliso (SA) junto al sistema nogal (SN) presentan promedios que oscilan entre 4,78 a 5,13 cm estos los agrupa en el grupo B y C según la prueba de Tukey sugiriendo con ellos un rendimiento menor.

Tabla 13.*Interacciones entre de los sistemas y tratamiento en el diámetro basal (cm)*

Sistema	Tratamiento	Medias	Grupos
SE	CR	6,13	A
SE	SL28	5,4	B
SE	BS	5,3	B C
SA	CR	5,13	B C
SA	SL28	5,12	B C
SN	SL28	5,05	B C
SN	CR	5,02	B C
SA	BS	4,88	B C
SN	BS	4,78	C

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

En la Figura 10, 11 y 12 se presentan los resultados del crecimiento de diámetro basal de las tres variedades de *Coffea arabica* (bourbon sidra, caturra rojo y SL28) bajo SAF con espino, aliso y nogal.

Figura 10

Crecimiento del diámetro basal en variedades de Coffea arabica en el Sistema Espino

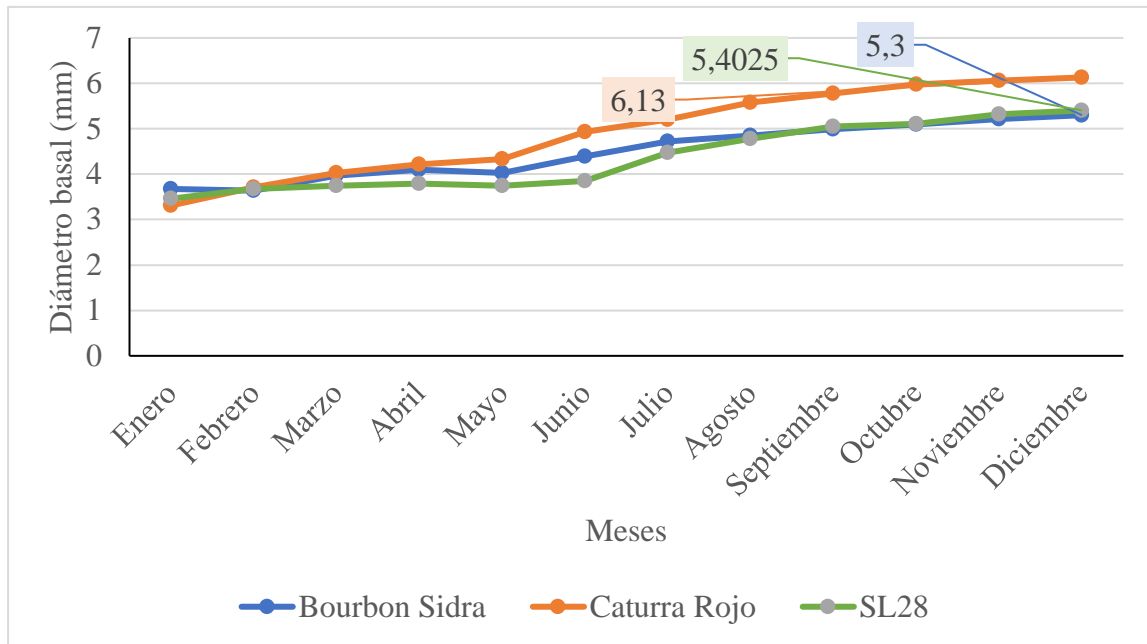


Figura 11

Crecimiento del diámetro basal en variedades de Coffea arabica en el Sistema Aliso

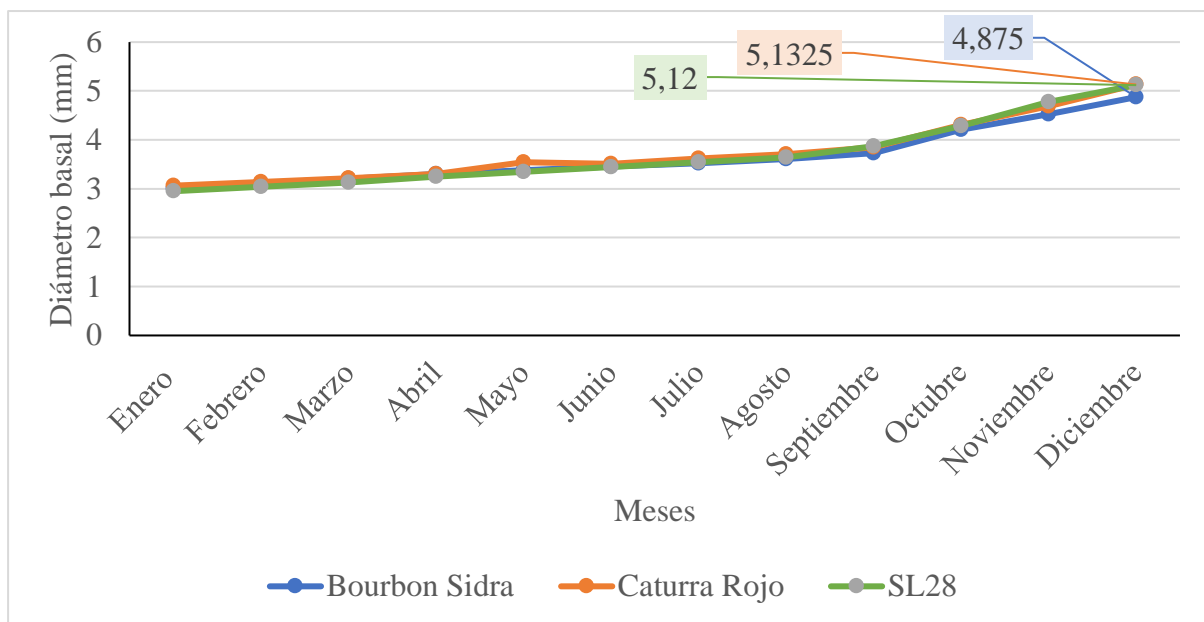
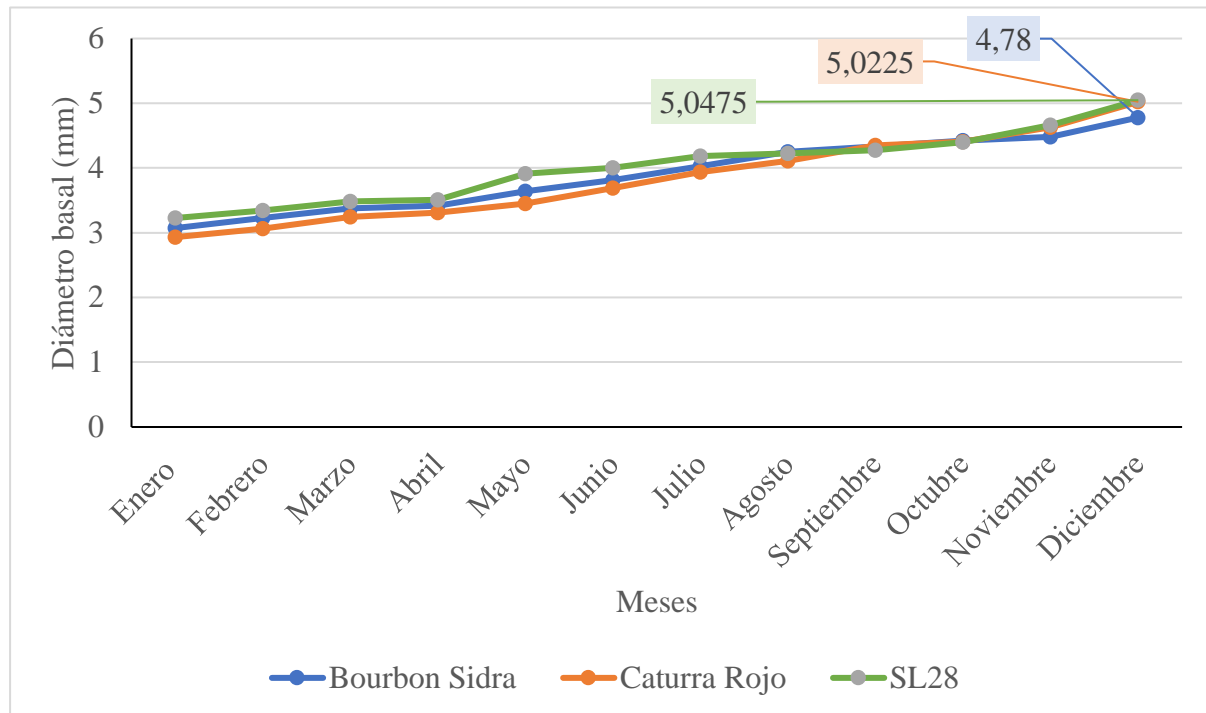


Figura 12

Crecimiento del diámetro basal en variedades de Coffea arabica en el Sistema Nogal



La variedad caturra rojo presento mayor crecimiento en el diámetro basal en el SAF con espino esto se da porque existió una mejor compatibilidad entre las especies ya que el espino tiene una arquitectura más abierta ayudando a la entrada de luz moderada con eso la reducción de los recursos como agua y nutrientes

Encalada *et al.* (2016), menciona que la variedad caturra rojo responde a cambios morfológicos cuando existe variaciones de luz, esto coincidiendo con el presente estudio ya que el SAF con espino proporciona una sombra ligera y difusa mejorando la fotosíntesis y favoreciendo el desarrollo del tallo, asimismo Piato *et al.* (2020), menciona que las especies que tiene una cobertura moderada mejora el crecimiento de las plantas, espino genera equilibrio en el desarrollo de caturra rojo, esto coincidiendo con el presente estudio ya que el tallo de esta variedad es altamente sensible en condiciones del entorno, lo que la idea de implementar un SAF con un porcentaje de sombra adecuada como la que proporciono el espino ya que ayuda a potenciar su desarrollo

3.1.7 Estado fitosanitario

Realizado el análisis de Kruskal-Wallis, se obtuvo un p-valor mayor al nivel de significancia ($p > 0.05$) en todos los meses evaluados, lo que nos indica que no existen diferencias significativas en el estado fitosanitario de las plantas, mostrado en la Tabla 14

Tabla 14

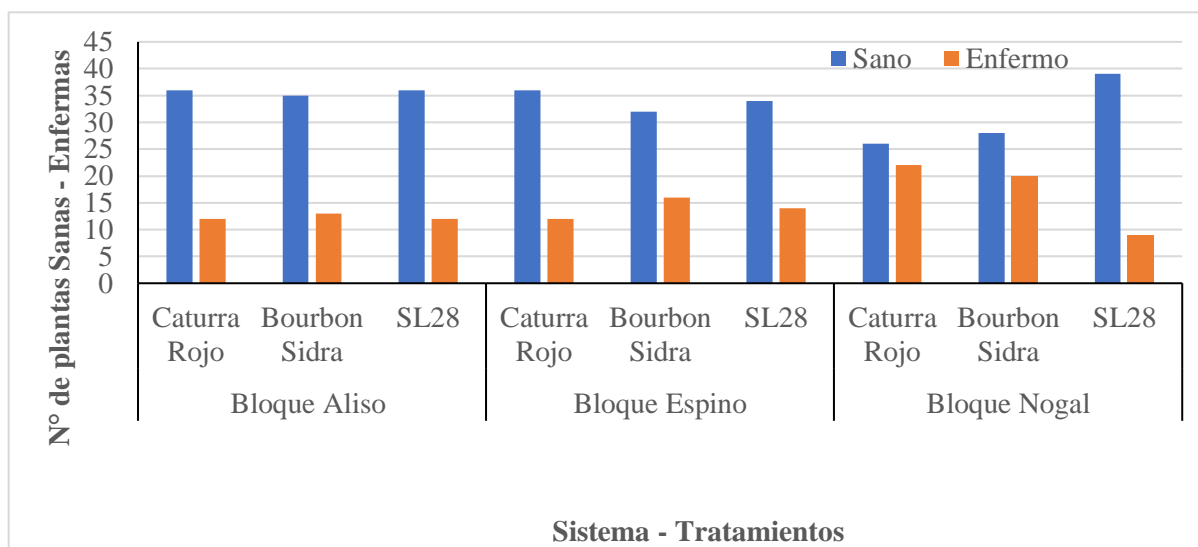
Resultados del análisis de Kruskal-Wallis aplicado al estado fitosanitario de las plantas

Variable	Meses	P-valor
Estado Fitosanitario	Enero	0,6535
Estado Fitosanitario	Febrero	0,6295
Estado Fitosanitario	Marzo	0,6956
Estado Fitosanitario	Abril	0,6966
Estado Fitosanitario	Mayo	0,7665
Estado Fitosanitario	Junio	0,6477
Estado Fitosanitario	Julio	0,9558
Estado Fitosanitario	Agosto	0,9621
Estado Fitosanitario	Septiembre	0,7379
Estado Fitosanitario	Octubre	0,9996
Estado Fitosanitario	Noviembre	0,9318
Estado Fitosanitario	Diciembre	0,5421

En la Figura 13 se presenta los resultados del estado fitosanitario de tres variedades de *Coffea arabica* bajo sistemas agroforestales, en la cual muestra el número de plantas sanas y enfermas para cada variedad, se observa que el sistema nogal (SN) tiene una mayor cantidad de plantas enfermas en comparación con los sistemas espino (SE) y aliso (SA)

Figura 13

Estado fitosanitario de las tres variedades de Coffea arabica bajo SAF



Los resultados que se obtuvieron nos indican que en el Sistema Nogal se muestra una mayor cantidad de plantas enfermas, lo cual puede relacionarse con la cantidad de sombra que se presente en este sistema, por otra parte, el aliso es una especie que fija nitrógeno que es importante para la fertilidad del suelo y el espino ayuda a retener la humedad y mejora la estructura edáfica, contribuyendo de forma positiva al crecimiento de las plantas por ello presenta poca cantidad de plantas enfermas

Según González *et al.* (2016) en su estudio nos indica que los SAF mejoran los microclimas y enriquecen al suelo ayudando a la salud de las plantas, esto coincidiendo con el presente estudio ya que la variedad SL28 tiene mayor cantidad de plantas sanas en el sistema nogal ya que esta variedad se adapta de manera exitosa a los microclimas que los SAF generan. Estudios realizado por el Servicio Forestal de EE.UU (2012), nos indica que la sombra ayuda a mantener condiciones ambientales estables, en cuestión de temperatura y humedad que son importantes para la salud del cafeto ya que la falta de sombra aumenta el estrés de las mismas y son más susceptibles a enfermedades, el sistema con nogal presento menor sombra (36%)

por ellos la presencia mayor de plantas enfermas en las variedades Caturra Rojo y Bourbon Sidra.

3.1.8 Costos del establecimiento del sistema.

En la Tabla 15 Se muestra los costos totales de establecimiento y manejo de los SAF con cafeto que fueron en aliso: \$1155,69, espino: \$990,55 y nogal: \$1,047, cuyos valores corresponden a las actividades: preparación del terreno, plantación, manejo durante el primer año de crecimiento, herramientas, insumos e imprevistos

Tabla 15

Tabla resumen de los costos de establecimiento y manejo del ensayo

Costo Total / Sistema				
N°	Actividades	Espino	Aliso	Nogal
1	Preparación de terreno	98,69	98,69	77,46
2	Delimitación	49,96	49,96	71,19
3	Hoyado	97,46	182,38	139,92
4	Fertilización	30,83	30,83	30,83
5	Transporte	0	0	25
6	Plantación	380,46	422,92	401,69
7	Mantenimiento	333,15	370,91	300,91
	TOTAL	990,55	1155,69	1047

Desde una perspectiva de viabilidad técnica, los costos no solo muestran una inversión económica, sino también las actividades de manejo que son requeridas por cada sistema. En el SAF con espino no incide los costos de transporte lo que representa un costo más bajo, en contraste con el SAF con aliso que al ser un terreno con una estructura pedregosa para su establecimiento y manejo tiene mayores costos en hoyado, plantación y mantenimiento, con ello una demanda mayor de trabajos técnicos y de mantenimiento. El SAF con nogal se encuentra en una posición intermedia a pesar de que tenga costos de transporte los mismos están distribuidos de manera uniforme y equilibrada entre todas las actividades

Los resultados obtenidos son coherentes con algunos estudios realizados en América Latina uno de ellos en Colombia, Londoño (2023), en su estudio menciona que el costo de establecimiento del SAF con árboles que proporciona sombra a los cafetales oscilan entre los \$900 y \$1,200 esto dependiendo del tipo de especie, este rango está ligado estrechamente con los valores que se obtuvo en el estudio presentado.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La variedad SL28 presentó mejor sobrevivencia bajo sistema agroforestal con Aliso, así como también una mejor interacción entre la variedad y el sistema
- La variedad Caturra Rojo alcanzo un mejor crecimiento en los SAF con Espino y Aliso, beneficiándose por su mayor disponibilidad de luz y un equilibrio micro climático
- EL SAF con Espino fue más viable técnica y económicamente permitiendo un manejo eficiente del cultivo con menor inversión

Recomendaciones

- Se recomienda el uso de los SAF con Aliso para el establecimiento de la variedad SL28 en especial en zonas que buscan mejorar la sobrevivencia del cultivo
- Es recomendable implementar un SAF con espino ya que es una alternativa para pequeños y medianos productores, facilitando su manejo y menor inversión en el establecimiento y mantenimiento
- Se sugiere continuar con la investigación en fase de producción para evaluar el comportamiento a largo plazo de las variedades estudiadas y así conocer su viabilidad económica

[MIENTO%20INICIAL%20DEL%20CAF%C3%89%20%28COFFEA%20ARA](#)

[BI.pdf](#)

- Criollo E., Munoz B., Checa B. y Noguera R. (2019) Initial growth of coffee (*Coffea arabica* L. var) castillo in the coffee zone of Nariño. *Rev. Cienc. Agr.* 36(1), 124-137. <https://doi.org/10.22267/rcia.1936e.112>.
- Cruz, M., Cevallos, A., Echeverria, J., Sánchez, I. y Lalama, J. (2018). Características del cultivo de cafeto. En *Embriogenesis somática de Coffea arabica*. L. Var. *Caturra Rojo, Bourbon Cidra y SL-28, de plantaciones cafetaleras de la Provincia del Carchi, Zona 1, Ecuador* (pp. 46-47) Mawil. <https://www.isbnecuador.com/catalogo.php?mode=detalle&nt=64904>
- Damatta, F., y Rodríguez, N. (2007). Producción sostenible de cafetales en sistemas agroforestales del Neotrópico: una visión agronómica y ecofisiológica. *Agronomía Colombiana*, 25(1), 113-123. <https://www.redalyc.org/pdf/1803/180316240013.pdf>
- Duarte, F., Santos, J., Costa, C., Oliviera, E., Lima, R., Tavares, M., Nascimento, J. y Rocha, W. (2025). Physical and chemical soil quality and litter stock in agroforestry systems in the Eastern Amazonia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 382 (115), 100-120. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2025.109479>
- Duicela, L., Coral, R., Farfán, D., Cedeño, L., y Palma, R. (2002). *Caracterización Edafológica de las Zonas de Producción de Café Arábigo en el Ecuador*.
- Duicela, L. y Sotomayor, I. (1993). Principales variedades. En *Manual de cultivos de café* (pp. 43-47), INIAP. <https://es.scribd.com/document/383633326/Manual-del-cultivo-de-cafe-pdf>
- Encalada, M., Soto, F. y Morales, D. (2016). Crecimiento de posturas de cafeto (*Coffea*

arabica L.) con cuatro niveles de sombra en dos condiciones edafoclimáticas del Ecuador. *Cultivos Tropicales*, 37(2), 72-78.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193246554008>

Escobar, A., Castillo, Á., Mas, F., Hernández, L. y López, O. (2024). Identification of coffee agroforestry systems using remote sensing data: a review of methods and sensor data. *Geocarto International*, 39(1), 20-36.

<https://doi.org/10.1080/10106049.2023.2297555>

Espinosa, G., Benjamín, G., Macías, S. y Mejías, J. (2013). Determinación de las características dimensionales y distribución de los cafetos variedad Caturra Rojo en condiciones de ladera. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(3), 30-34.

Recuperado en 04 de junio de 2025, de

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-

[00542013000300005&lng=es&tlng=es.](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542013000300005&lng=es&tlng=es)

FAO. (2012). *Estadísticas de producción de café en el Ecuador*.

<https://www.fao.org/statistics/es>

Farfán, V. (2014). Factores modificadores de la interceptación de la radiación fotosintéticamente activa (RAF) en SAF con café. En *Agroforestería y sistemas agroforestales con café* (pp. 71-82) Cenicafé

https://www.cenicafe.org/es/publications/Agroforester%C3%ADa_y_sistemas_agroforestales_con_caf%C3%A9.pdf

Farfán, F. (2020). Administración del cultivo del café en sistemas agroforestales – SAF.

En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *Manejo Agronómico de los Sistemas de Producción de Café* (pp. 72–123). Cenicafé.

https://doi.org/10.38141/10791/0002_3

- Figuroa, E. H., Pérez, F. S., y Godinéz, L. M. (2015). La producción y el consumo del café. En *Aspectos generales del cultivo del café* (pp. 6-13). Ecorfan.
<http://hdl.handle.net/20.500.11799/64936>
- Fonseca, A., Freitas, A., Carvalho, G., Carneiro, M., Vilela, y Fassio, L. (2020). Fungo micorrízico arbuscular no crescimento inicial e nutrição de genótipos de *Coffea arabica* L. *Ciência e Agrotecnologia*, 43(1), 69-79. <https://doi.org/10.1590/1413-7054201943006919>
- Flórez, C., Ibarra, L., Gómez Gil, L., Carmona, C., Castaño, A., y Ortiz, A. (2013). Estructura y funcionamiento de la planta de café. En *Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (pp. 123–168). Cenicafé
https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_08
- Galindo, X. (2011). *Producción e Industrialización de Café Soluble* [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Económicas, Guayaquil]
<http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/01/Galindo-Veliz-XiomaraRaiza.pdf>
- Gonzáles, N., Casanova, F. y Cetzal, W. (2016). Sistemas Agroforestales. y biodiversidad. *Agro Productividad*, 9(9), 56-60 <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/8118>
- Gotteland, M. y Santurnino, V. (2007). ALGUNAS VERDADES SOBRE EL CAFÉ. *Revista chilena de nutrición*, 34(2), 105-115. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182007000200002>
- Guerrero, M. (2017). *Rendimiento de café grano en el Ecuador 2017*. Ministerio de Agricultura y Ganadería.
<https://fliphtml5.com/ijia/mzvg/basic#:~:text=RENDIMIENTOS%20DE%20CAF%20GRANO%20SECO,ECUADOR%202017%20Monteros%20Gue>

[rrero%2C%20A.&text=Los%20principales%20resultados%20obtenidos%20indi
can,rendimiento%20de%200.23%20t%20Fha](#)

Haro, N., Meza, G., Llomeli, J., Rascón, J., Pariente, E. y Coronel, E. (2025). Influence of agroforestry systems on *Coffea arabica* L. yield and quality at different altitudes in Amazonas, Peru. *Journal of Agriculture and Food Research*, 19 (1). 30-52.
<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101574>

Hernández, J. (2017). *Contabilidad de costos*. Trillas.

Herrera, F., Llerena, R., Luna, A. y Chilan, P. (2022). Crecimiento y desarrollo de variedades de café (*Coffea arabica* L.) en el subtrópico ecuatoriano. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(6), 15187-15199.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1482

Jiménez, K., Ordóñez, J., y Ochoa, W. (2018). Especialización productiva considerando elementos ambientales: Un análisis de caso para Loja-Ecuador. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 7(1). 1-13.
<https://revistas.uea.edu.ec/index.php/racyt/article/view/91/95>

Julca, A., Alvarado, L., Borjas, R., Castro, V., León, F., Valderrama, P., y Bello, S. (2023). Variedades de café (*Coffea arabica*), una revisión y algunas experiencias en el Perú. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 10 (2), 134-155. <https://10.53287/ruyx4519vm15b>

Julca, A., Borjas, R., Bello, S., Y. y Rebaza, D. (2016). El crecimiento del café var. Caturra Roja y su relación con la aplicación de abonos orgánicos. *Saber Y Hacer*, 2(2), 74–89. <https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/131>

León, A. (2022). Manejo del sombrío en los sistemas agroforestales con café. [Conferencia de Memorias]. *Seminario Científico Cenicafé*, https://www.researchgate.net/publication/373859123_Manejo_del_sombrio_en

[los sistemas agroforestales con café](#)

Linares, E. (2005). *Instructivo para determinar la sobrevivencia en plantaciones forestales*. MINAG.

Londoño, J. (2024). Costos de manejo de sistemas agroforestales en Colombia. Secretaría técnica Solidaridad. <https://acuerdocafebosqueyclima.com/wp-content/uploads/2024/07/Estudio-SAF-2024-1.pdf>

López, M, y Rocha, L. (2007). Definición, perspectiva y potencial. En *Sistemas agroforestales*. (pp. 3-20) Cenida. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/training_material/docs/1_RENF08M538.pdf

Milla, M., Olivia, S., Leiva, S., Collazos, R., Gamarra, O., Barrena, M. y Maicelo, J. (2019). Características morfológicas de variedades de café cultivadas en condiciones de sombra. *Acta Agronómica*. 68(4). 271-277. <https://doi.org/10.15446/acag.v68n4.70496>

Millet, C. P., Allinne, C., VI, T., Poncet, V., y otros. (2024). Haitian coffee agroforestry systems harbor complex *Arabica* variety mixtures and under-recognized genetic diversity. *PLOS ONE*, 19(4), 35-56. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299493>

MOCCA. (2022). *Manual de manejo de sombra en café*. TechnoServe. <https://mocca.org/wp-content/uploads/2022/12/MANUAL-Manejo-de-Sombra.pdf>

Montagnini, F. (2006). Preface. En *Environmental services of agroforestry systems* (pp. 13-20) CRC Press. <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=r17jRNjPS8C&oi=fnd&pg=PP19&dq=Environmental+Services+of+Agroforestry+Systems&ots=s2Mz0nwWNu&sig=nIh0563f0mUaNLUn12M7H->

[IDWR4#v=onepage&q=Environmental%20Services%20of%20Agroforestry%20Systems&f=false](https://www.sciencedirect.com/bookseries/advances-in-botanical-research)

- Montagnon, C., Sheibani, F. y Bertrand, B. (2024). The history and genetic diversity of cultivated *Coffea arabica*. En *Botanic Research* (pp. 1-28) AP <https://www.sciencedirect.com/bookseries/advances-in-botanical-research>
- Morales, V., Mora, A., Melo, E. y Villatoro, M. (2024). Growth and Productivity of *Coffea arabica* var. Esperanza L4A5 in Different Agroforestry Systems in the Caribbean Region of Costa Rica. *Agriculture*. 14(10). 17-23. <https://doi.org/10.3390/agriculture14101723>
- Oliva, M., Silva, R., Santillan, H., Juarez, L., Rojas, H. y Silva, G. (2024). Sensory quality of coffee (*Coffea arabica* L.): Influence of tree diversity and harvest segmentation in agroforestry systems. *Journal of Agriculture and Food Research*. 18(10), 56-63. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101347>
- Oliveira, J., Magalhães, W., Araújo, A., Barreto, L. y Silva, J. (2022). Crescimento e composição foliar de cultivares de café (*Coffea arabica* L.) em sistema agroflorestal na microrregião do Brejo Paraibano. *Revista Nativa*, 10(3), 312-318. <https://doi.org/10.31413/nativa.v10i3.13280>
- Pérez, E. y Geissert, D. (2006). Zonificación agroecológica de sistemas agroforestales: el caso café (*Coffea arabica* L.) - Palma Camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.). *Interciencia*, 31(8), 556-562. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006000800004&lng=es&tlng=es
- Piato, K., Lefort, F., Subía, C., Caicedo, C., Calderón, D., Pico, J., y Norgrove, L. (2020). Effects of shade trees on robusta coffee growth, yield and quality: A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 40(38).

<https://doi.org/10.1007/s13593-020-00642-3>

Pinargote, M. (2021). Sistemas agroforestales con café: el rol de los árboles en la provisión de servicios ecosistémicos. En *Tópicos selectos de investigación de recursos naturales en américa latina* (pp. 10-20) Edunica. https://www.researchgate.net/publication/358443681_Sistemas_agroforestales_c_on_cafe_el_rol_de_los_arboles_en_la_provision_de_servicios_ecosistemicos

Raj, A., Jhariya, K., Yadav, K. y Banerjee, A. (2020). Impact of climate change on Agroecosystems and Mitigation Strategies. En *Climate change and agroforestry systems: adaptation and mitigation strategies*. (pp. 1-26) CRC Press. https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=tTb3DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Climate+Change+and+Agroforestry+Systems&ots=vjXMP3u_ep&sig=_x8M7HDZZAtDMcaMH2b3kzrgrKM#v=onepage&q=Climate%20Change%20and%20Agroforestry%20Systems&f=false

Ramírez, H., Jaramillo, Á., y Arcila, J. (2013). Factores climáticos que intervienen en la producción del café en Colombia. En *Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura*, (pp. 205– 237). Cenicafé. https://doi.org/10.338141/cenbook-0026_10

Reyes, J., Rodríguez, J., Pimienta de la Torre, D., Fuentes, A., Marroquín, P., Merino, A. y Aguirre, J. (2022). Diversidad y estructura de los árboles de sombra asociados a *Coffea arabica* L. en el Soconusco, Chiapas. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 13(71), 4-27. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i71.1191>

Riviello, C., Robledo, A., Gutiérrez, M., Suárez, J, y Mascorro, J. (2021). Maduración y germinación de embriones somáticos de *Coffea arabica* cv. Colombia. *Revista fitotecnica mexicana*, 44(2), 161-171. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.2.161>

- Romero, J., y Camilo, J. (2019). Las plantas de café. En *Producción sostenible de café. Santo Domingo, Republica Dominicana Las plantas de café* (pp. 9-10), Dewey. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/8726/BVE20037756e.pdf?sequence%20=1>
- Rodríguez, Y. (2022). Fijación biológica de nitrógeno por interacción entre aliso (*Alnus acuminata*) y *Frankia* sp en un sistema silvopastoril. *Agricolae & Habitat*, 2(1), 2–6. https://www.researchgate.net/publication/360978942_Fijacion_Biologica_de_Nitrogeno_por_interaccion_entre_aliso_Alnus_acuminata_y_Frankia_sp_en_un_sistema_silvopastoril
- Ruiz, P., Gómez, J., Valdés, A., Tinoco, J. A., Flores, M y Montroso, I. (2020). Biophysical and structural composition characterization in agroforestry systems of organic coffee from Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(2), 837.
- Sadeghian, S. y Zapata, R. (2015). Crecimiento de café (*Coffea arabica* L.) durante la etapa de almácigo en respuesta a la salinidad generada por fertilizantes. *Revista de ciencias agrícolas*, 31(2), 40-50. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-01352014000200004
- Sánchez, J., Pintado, R. y Jiménez, J. (2019). Inducción de embriogénesis somática a partir de explantes foliares en tres variedades de café. *Scientia Agropecuaria*, 10(2), 259-264. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.02.11>
- Sebulbia, E., Majaliwa, G., Isubikalu, P., Turyhabwe, N. Eilu, G. y Ekwamu, A. (2021). Characteristics of shade trees used under arabica coffee agroforestry systems in Mount Elgon Region, Eastern Uganda. *Agroforestry Systems*, 96, 65–77.
- Servicio de Conservación de Recursos Naturales. (2012). Manejo de cafetales bajo sombra. USDA Forest Service. <https://www.fs.usda.gov/nac/assets/documents/morepublications/FactSheetCafeSombra.pdf>
- Valdés, M., Valdés, K., Rodríguez, Y. y Hernández, H. (2024). Sistemas agroforestales en la Región Amazónica Ecuatoriana. *Ciencia Latina*. 8(1). 8587-8613. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.10185

- Valencia, G. (1999). Fisiología, nutrición y fertilización del cafeto. En *Reacciones fisiológicas del cafeto a factores ambientales*, (pp. 7-13). Cenicafé. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/861/1/Introducci%C3%B3n.pdf>
- World Coffee Research. (2025). *SL28*. World Coffee Research Varieties Catalog. <https://varieties.worldcoffeeresearch.org/varieties/sl28>
- Zapata, C., Andrade, J. y Nieto, K. (2017). Comportamiento ecofisiológico del cafeto (*Coffea arabica* L.) cv. Castillo en sistemas agroforestales de Tibacuy, Cundinamarca. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 20(1), 61–70. <https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n1.2017.63>

Anexos 1 – Fotografías

Apertura de hoyos



Ubicación de las plántulas



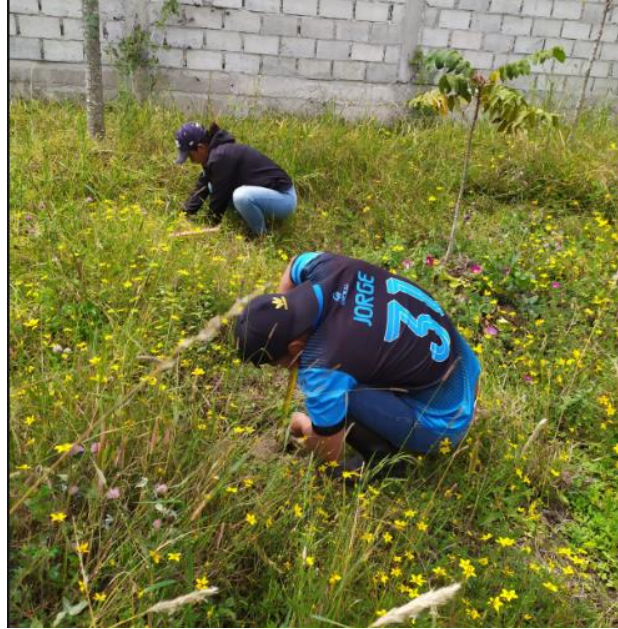
Plantación



Toma de datos de diámetro de copa



Toma de datos de altura



Mantenimiento de los sistemas

