



“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

SEDE CAMOAPA

Recinto Myriam Aragón Fernández

TRABAJO DE TESIS

**Estimación de la composición florística y
carbono almacenado en sistemas
agroforestales con café (*Coffea arabica* L.) en
comarca Loma de Cafen, Boaco, 2021**

Autores

**Br. Ernesto Alfonso Pérez Amador
Br. Lester Francisco Amador Lira**

Asesores

**MSc. Edwin Freddy Ortega Tórrez
MSc. Miguel Ángel Garmendia Zapata**

Camoapa, Nicaragua Marzo 2022



“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

SEDE CAMOAPA

Recinto Myriam Aragón Fernández

TRABAJO DE TESIS

**Estimación de la composición florística y
carbono almacenado en sistemas
agroforestales con café (*Coffea arabica* L.) en
comarca Loma de Cafen, Boaco, 2021**

Autores

**Br. Ernesto Alfonso Pérez Amador
Br. Lester Francisco Amador Lira**

Asesores

**MSc. Edwin Freddy Ortega Tórrez
MSc. Miguel Ángel Garmendia Zapata**

Presentado a la consideración del honorable
tribunal examinador como requisito final para
optar al grado de Ingeniero Agrónomo

Camoapa, Nicaragua Marzo, 2022

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable comité evaluador designado por el director de la Sede Regional Camoapa, Como requisito parcial para optar al título profesional de:

Ingeniero Agrónomo

Miembros del honorable comité evaluador

MSc. Kelving Jhon Cerda Cerda
Presidente

Ing. Franklin José Martínez Sánchez
Secretario

MSc. Luis Guillermo Hernández Malueños
Vocal

Camoapa, Nicaragua Marzo, 2022

ÍNDICE DE CONTENIDO

CONTENIDO	PÁGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos	3
III. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1 Historia de la Agroforestería	4
3.2 Árbol	4
3.3 Café bajo sombra	4
3.4 Arbusto de café	5
3.5 Diámetro de un árbol	5
3.6 Hojarasca	5
3.7 Generalidades en la estimación de carbono almacenado	6
3.7.1 Carbono orgánico (CO ₂)	6
3.7.2 Carbono almacenado	6
3.7.3 Biomasa	6
3.7.4 Ecuación alométrica	6
3.7.5 Carbono orgánico del suelo	7
3.7.6 Suelo	7
3.7.8 Materia orgánica del suelo	8
3.7.9 Densidad aparente	8
3.7.10 Métodos para estimar biomasa y carbono en la vegetación	8
3.8 Indicadores de composición florística	9
3.8.1 Biodiversidad con Shannon - Wiener	9
3.8.2 Abundancia de especies	9
3.8.3 Riqueza de especies	9
3.8.4 Índice de similitud de especies	10

3.9 Muestreo	10
3.10 Análisis de componentes principales	10
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	11
4.1 Ubicación del área de estudio	11
4.2 Diseño metodológico	12
4.2.1 Primera fase o fase de planificación	13
4.2.2 Segunda fase o fase operativa	14
4.2.3 Tercera fase o fase de análisis de datos e interpretación de resultados	14
4.2.4 Definición de la muestra	15
4.2.5 Parcela de muestreo	15
4.2.6 Análisis de datos	16
4.3 Variables evaluadas	17
4.3.1 Características generales de las fincas con café bajo sombra	18
4.3.2 Composición florística de árboles en el cafetal	19
4.3.3 Carbono almacenado en los SAF con café	21
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
5.1 Características generales de los sistemas agroforestales con café de la comarca Loma de Cafen	26
5.1.1 Finca EL Progreso	26
5.1.2 Finca San Antonio	27
5.1.3 Finca Las Miradas	28
5.1.4 Finca La Herradura	29
5.1.5 Finca Cielo Azul	30
5.1.6 Finca El Chilamate	31
5.1.7 Finca Divino Niño	32
5.2 Composición florística de árboles en el cafetal	34
5.2.1 Biodiversidad arbórea utilizando el índice de Shannon Wiener	34
5.2.2 Abundancia arbóreas en SAF con café	35
5.2.3 Riqueza de especies arbóreas en SAF con café	36
5.2.4 Índice de similitud de las especies arbóreas utilizando la distancia de Bray Curtis	38
5.2.5 Porcentaje de sombra en los SAF con café	40
5.2.6 Uso de especies arbóreas presentes en SAF con café	41
5.3 Carbono almacenado en SAF con café	42
5.3.1 Carbono almacenado en el suelo en SAF con café	42
5.3.2 Carbono almacenado por árboles en SAF con café	44
5.3.3 Carbono almacenado por mantillo en SAF con café	45
5.3.4 Carbono almacenado por arbustos de café en SAF con café	47

5.3.5 Carbono total almacenado en los sistemas agroforestales con café	48
5.3.6 Análisis de componentes principales para carbono almacenado en SAF con café	49
VI. CONCLUSIONES	53
VII. RECOMENDACIONES	55
VII. LITERATURA CITADA	56
VIII. ANEXOS	60

DEDICATORIA

Este estudio que he realizado con mucho esfuerzo se lo dedicò primeramente a Dios ya que el ha estado con nosotros en todo momento, nos ha dado sabiduria y paciencia para comprender todo lo trasmitido por nuestros asesores.

A mi padre, **Juan Alfonso Pérez Mendoza**, a mi madre **María Lucrecia Amador Méndez** quien en vida me instó a seguir mi sueño de estudiar en la universidad. A mis herman@s por comprender mis ausencias en casa y brindarme todo su apoyo para terminar esta investigación.

Ernesto Alfonso Pérez Amador

DEDICATORIA

A **Dios**, por ser nuestro guía que nos regala la vida y la fortaleza cuando más necesitamos que me ha dado la oportunidad de terminar mi carrera con éxito y cumplir todas mis metas y sueños.

A mis padres **Leoncio Amador Hernández y Esperanza del Socorro Lira Duarte** por ser un ejemplo en mi vida, y de entrega y sacrificios. Sin tí no hubiese podido lograr esta meta, eres el más preciado tesoro que Dios me ha regalado.

A mis hermanos, **Norlan Antonio Amador Lira, Leticia María Amador Lira, Eliezer Amador Lira** por su apoyo y motivación para salir adelante, que sin esperar nada a cambio, han sido pilares en nuestro camino y así, forman parte de este logro, que nos abre puertas en nuestro desarrollo profesional.

A mi compañera **Maria Téllez Urbina** por su apoyo incondicional y a mi hija **Crisbell Yosleydi Amador Téllez** por ser mi fortaleza para seguir adelante.

Lester Francisco Amador Lira

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios nuestro señor, por permitirme vivir, ya que gracias a el pude estudiar la carrera ingeniería Agronómica que con mucho sacrificio logré terminarla en medio de tantas dificultades.

Agradezco a MSc. **Edwin Freddy Ortega Tórrez** por habernos compartido su experiencia y haber dedicado horas de su valioso tiempo, por habernos tenido paciencia durante el proceso de elaboración de este estudio y por brindar su apoyo incondicional en cada etapa de este trabajo, le estaremos eternamente a gradecido. Al MSc. **Miguel Ángel Garmendia Zapata** por haber compartido su experiencia, por habernos brindado ese apoyo incondicional, nuestra eterna gratitud.

Agradezco a los productores por habernos facilitado sus fincas para la elaboración de este estudio y por habernos regalado horas de su tiempo y por compartir con sencillez sus conocimientos en el manejo del cultivo del café.

A mi amigo **Lester Francisco Amador Lira**, además es mi compañero de trabajo le agradezco de manera especial quién durante un año trabajamos para terminar nuestra estudio, a pesar de muchas dificultades logramos nuestro objetivo de terminar nuestra investigación.

Agradezco a mis compañer@s de clases por haber compartido tiempos con ellos, a mis amigos **Samuel Rivera, Juan Campos, Norma Largaespada y a Eleizer Álvarez** con quiénes compartí buenos momentos durante todo el transcurso de la carrera. A mi amigo, Lic. **Gendri García** quién estuvo pendiente durante la elaboración de la investigación, por haberme animado a seguir adelante para terminar la investigación.

Ernesto Alfonso Pérez Amador

AGRADECIMIENTO

Primeramente, a Dios por darme las fuerzas, entusiasmo de culminar mi carrera siendo un triunfo y por realizar mi sueño; Gracias Dios, sin ti no hubiese sido posible cumplir mis sueños logros y metas.

A mis padres y familiares y amigos que han brindado todo el apoyo, los agradezco de todo corazón. A todas las personas que de alguna u otra forma me animaron para culminar mi carrera y seguir adelante en una nueva etapa de mi vida como profesional.

A los Maestros de la Universidad Nacional Agraria sede Camoapa que, con su dedicación y empeño, compartieron de sus conocimientos y han sido un estímulo de deseo de superación.

A mis asesores, MSc. **Edwin Freddy Ortega Tórrez** MSc. **Miguel Ángel Garmendia Zapata** que fueron de gran ayuda, apoyo y poder guiar este proceso de estudio.

A mi compañero de investigación **Ernesto Alfonso Pérez Amador** por haberme brindado todo su apoyo incondicional para terminar nuestro trabajo le agradezco de todo corazón.

A la Universidad Nacional Agraria Sede Regional Camoapa por darme todo el apoyo y la oportunidad de formar parte de ella y por permitirme ser parte de una nueva generación de triunfadores, profesionales productivos para el país.

Lester Francisco Amador Lira

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1	Selección de muestra por sorteo de los SAF con café de la comarca Loma de Cafen, Boaco, 2021	15
2	Matriz de operacionalización de variables	17
3	Resumen de las características generales de la finca, la familia y el SAF con café	33
4	Uso de especies arboreas en los SAF con café según los productores	41
5	Carbono total almacenado en los sistemas agroforestales con café	48

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Ubicación del área de estudio para la estimación de carbono en Loma de café, Boaco 2021	11
2	Fases del proceso metodológico	12
3	Diseño de la parcela de muestreo con las subparcelas	16
4	Biodiversidad arbórea utilizando el índice de Shannon - Wiener	34
5	Abundancia de arboles por en SAF con café	36
6	Riqueza de especies arbóreas en SAF con café	37
7	Dendograma representando un análisis de conglomerado del índice de similitud utilizando Bray Curtis y el algoritmo de Ward	39
8	Porcentaje de sombra en los SAF con café	40
9	Carbono almacenado en el suelo en SAF con café (t ha ⁻¹ C)	43
10	Carbono almacenado por árboles en SAF con café (t C ha ⁻¹)	44
11	Carbono almacenado por mantillo en SAF con café (t C ha ⁻¹)	46
12	Carbono almacenado por arbustos en SAF con café (t C ha ⁻¹)	47
13	Análisis de componentes principales para carbono almacenado en SAF con café	50

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO	PÁGINA
1 Cronograma de actividades para la estimación de carbono almacenado en SAF con café en la comarca Loma de Cafen, Boaco, 2021	60
2 Presupuesto para la estimación de carbono almacenado en sistemas agroforestales con café en la comarca Loma de Cafen, Boaco, 2021	61
3 Listado de productores y definición de muestra por sorteo de los sistemas agroforestales con café en la comarca Loma de Cafen, Boaco, 2021	62
4 Diagnostico del estado productivo del cafetal	62
5 Medición de altura y diámetro de arbustos de café en la parcela de muestreo de 5 x 5 m	64
6 Inventario de especies arbóreas con DAP \geq 10 cm en la parcela de muestreo de 10 x 10 m	65
7 Inventario de especies arbóreas con DAP \geq 10 cm	67
8 Cuadro de correlación de indicadores para carbono almacenado	68

RESUMEN

En Nicaragua el café (*Coffea arabica* L.), aporta aproximadamente 400 millones de dólares en divisas equivalente al 33 % de las exportaciones agropecuarias y cerca de 400 000 empleos durante la cosecha. Se describió las características generales de los sistemas agroforestales con café, identificó la composición florística arbórea y determinó el carbono almacenado en suelo, árboles, mantillo y arbustos de café en comarca Loma de Cafen, Boaco, 2021. La investigación fue no experimental cuyo proceso metodológico constó de tres fases: planificación, operativa y análisis de datos e interpretación de resultados. Se utilizaron parcelas anidadas de 10 x 10 m, 5 x 5 m y un m² al centro del Sistema Agroforestal. Se trabajó con pequeños productores de café de 0.35 a 2.45 ha, con ocho a dos personas por hogar, todos utilizan la variedad catimor, suelos arcillosos de pH moderadamente ácidos y altos en materia orgánica. Se identificaron 85 árboles en 16 familias y 22 especies con predominio de *Cordia alliodora* con una abundancia de 17 individuos, *Guazuma ulmifolia* 11 y *Citrus sinensis* nueve; bajo índice de diversidad según Shannon Wiener con un rango de entre 1.15 a 1.93 y la formación de tres grupos según el índice de similitud de Bray Curtis, el de mayor similitud formado por las fincas San Antonio y El Pograma que comparten cinco de las 22 especies, seguido por las fincas Cielo Azul, Las Miradas y Divino Niño compartiendo de una a cuatro especies y el tercer grupo formado por las fincas El Chilamate y La Herradura compartiendo una especie. El suelo fue el componente que más carbono almacenó con un promedio de 81.35, seguido de árboles 10.18, mantillo 1.9 y arbustos de café 1.25 t ha⁻¹ C. Se concluye que se investigó en fincas de pequeños productores de café bajo sombra con suelos ácidos, pero altos en materia orgánica con baja biodiversidad arbórea y formación de tres grupos según índice de similitud de Bray Curtis, que el suelo es quien más carbono almacena seguido de árboles, arbustos de café y mantillo, en promedio los SAF almacenan 95.1 con un máximo de 124.4 y mínimo de 58.63 t ha⁻¹ C. Con respecto a carbono almacenado el análisis de componentes principales mostró relación positiva entre el suelo y su materia orgánica; entre árboles y arbustos de café con sus diámetros y alturas y, el mantillo con las dimensiones de los árboles.

Palabras clave: ecuación alométrica, biodiversidad, índice de similitud, abundancia.

ABSTRACT

In Nicaragua, coffee (*Coffea arabica* L.) contributes approximately 400 million dollars in foreign currency, equivalent to 33% of agricultural exports and nearly 400,000 jobs during the harvest. The general characteristics of the agroforestry systems with coffee were described, the arboreal floristic composition was identified and the carbon stored in soil, trees, mulch and coffee bushes in the Loma de Cafen region, Boaco, 2021 was determined. The research was non-experimental whose methodological process It consisted of three phases: planning, operation and data analysis and interpretation of results. Nested plots of 10 x10 m, 5 x 5 m and one m² at the center of the Agroforestry System were used. We worked with small coffee producers from 0.35 to 2.45 ha, with eight to two people per household, all use the Catimor variety, clay soils with a moderately acidic pH and high in organic matter. 85 trees were identified in 16 families and 22 species with a predominance of *Cordia alliodora* with an abundance of 17 individuals, *Guazuma ulmifolia* 11 and *Citrus sinensis* nine; low diversity index according to Shannon Wiener with a range of between 1.15 to 1.93 and the formation of three groups according to the Bray Curtis similarity index, the one with the greatest similarity formed by the San Antonio and El Pogreso farms that share five of the 22 species, followed by the Cielo Azul, Las Miradas and Divino Niño farms sharing from one to four species and the third group formed by the El Chilamate and La Herradura farms sharing one species. The soil was the component that stored the most carbon with an average of 81.35, followed by trees 10.18, topsoil 1.9 and coffee bushes 1.25 t ha⁻¹ C. It is concluded that it was investigated in farms of small shade-grown coffee producers with acid soils, but high in organic matter with low tree biodiversity and formation of three groups according to the Bray Curtis similarity index, that the soil is the one that stores more carbon followed by trees, coffee bushes and mulch, on average the SAF store 95.1 with a maximum of 124.4 and a minimum of 58.63 t ha⁻¹ C. With respect to stored carbon, the main component analysis showed a positive relationship between the soil and its organic matter; between trees and coffee bushes with their diameters and heights and, the topsoil with the dimensions of the trees

Keywords: allometric equation, biodiversity, similarity index, abundance

I. INTRODUCCIÓN

El Instituto de Tecnología Agropecuaria, INTA (2020), afirma que “el café es el rubro agrícola de mayor importancia para Nicaragua aportando aproximadamente 400 millones de dólares en divisas, equivalente al 33 % de las exportaciones del sector agropecuario, generando aproximadamente 400 000 empleos en época de corte” (p. 1).

Ambientalmente el café casi en su totalidad está sembrado bajo sombra 96 % contribuyendo a la conservación de los bosques y la biodiversidad. La distribución promedio en el uso del suelo de las fincas cafetaleras es 30 % con café, 50 % con vegetación forestal y 20 % en otras actividades (FUNICA, 2009, (p. 68).

A la combinación de árboles con cultivos perennes como el café se les denomina sistemas agroforestales y pueden abreviarse utilizando el término SAF. Mendieta y Rocha, (2007) afirman que “los SAF son ecosistemas que incluyen entre sus componentes poblaciones de plantas cultivadas y animales, físicamente es una unidad que procesa ingresos tales como radiación solar, agua, nutrientes y produce egresos tales como alimentos, leña, fibras, entre otros” (p. 4).

El cambio climático ocasionado por el aumento en la concentración de los gases de efecto invernadero a causado problemas ambientales como disminución de la biodiversidad, degradación de la tierra y escases de agua que repercuten en la producción de alimentos; para mitigar estos efectos el panel intergubernamental para el cambio climático, (IPCC) plantea opciones que incluyen, gestión forestal sostenible, la gestión del carbono orgánico en el suelo, conservación de los ecosistemas y la restauración de la tierra (IPCC, 2020, p. 25). Los SAF con café contribuyen al propósito planteado por el IPCC.

Los SAF son considerados sumideros de carbono almacenado CO_2 debido a que lo almacenan temporalmente en las plantas se pueden considerar un servicio ambiental, este se considera un proceso de descomposición y mineralización este pasa al suelo de manera sistemática en volumen variados. Rüginitz, Chacon y Porro (2009), afirman que “para estimar

carbono almacenado existen dos métodos, el método directo o destructivo que consiste en cortar los árboles para estimar su carbono y método indirecto no destructivo que consiste en el uso de ecuaciones alométricas” (p. 28).

El Fondo Monetario Internacional (FMI) calcula el precio promedio mundial de dióxido de carbono en dos dólares americanos por tonelada, esto depende del contrato pactado entre oferente y el que paga, lo que puede oscilar desde uno a 119 US\$ por tonelada de CO₂ (World Bank Group, 2020, p. 18 y 21).

Los resultados del estudio permitirán a los productores valorar la contribución que sus sistemas productivos están aportando al medio ambiente, información que podría ser valiosa tenerla disponible de cara a futuros proyectos de pagos por servicios ambientales lo que generaría otros ingresos a los productores.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Estimar la composición florística y carbono almacenado en sistemas agroforestales con café (*Coffea arabica* L.) en comarca Loma de cafen, Boaco, 2021

2.2 Objetivos específicos

Describir las características generales de los sistemas agroforestales con café de la comarca Loma de Cafen

Identificar la composición florística de árboles en sistemas agroforestales con café en la comarca Loma de Cafen

Determinar el carbono almacenado en suelo, árboles , mantillo y arbustos de café en sistemas agroforestales con café en comarca Loma de Cafen

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1 Historia de la Agroforestería

Mendieta y Rocha (2007), afirman que “en Europa a la asociación de especies arbóreas y cultivos agrícolas era costumbre durante la edad media, plantaban especies arbóreas antes, durante o después de haber sembrado los cultivos agrícolas” (p. 5). Los mismos autores aseveran que “en América Central en agroforestería se emplean varias técnicas de mezclas de árboles, conocidas por los indios precolombinos, particularmente la práctica de agricultura migratoria, los huertos caseros, la mezcla de árboles y cultivos” (p. 5).

3.2 Árbol

Villanueva, Morales y Suárez (s.f), afirman que “árbol es una planta leñosa de más de tres metros de alto, un tallo único ramificado, es parte del ecosistema, protegen contra la erosión y son parte del paisaje” (p.1, 5, 6). Medrano (2017), sostiene que “árbol es vegetal leñoso perenne que normalmente tiene un fuste principal y una copa definida en estado de madurez alcanza una altura mayor de siete metros” (p. 32).

3.3 Café bajo sombra

Rojo (s . f), afirma que “café bajo sombra es aquel que se cultiva bajo la cobertura forestal entorno de selva y en beneficio de la biodiversidad (p. 29). Por otro lado ICAFE (2011), plantea que “ la sombra en los cafetales contribuye a mejorar la fertilidad del suelo mediante el aporte de materia orgánica y el reciclaje de elementos, control de la erosión, la hojaraca protege el suelo de la erosión hídrica” (p. 33).

Los sistemas agroforestales con café generan beneficios como los que referimos:

Son un tipo de sistema agroforestal que aportan además del café, servicios ecosistémicos como la captación y retención de agua de lluvia, el secuestro de

carbono, la producción de oxígeno y la conservación de la biodiversidad, además del potencial indispensable para la diversificación productiva (INECOL, 2021, p. 2).

3.4 Arbusto de café

Rojo (s. f.), afirma que “planta de café es un arbusto grande de unos 5 metros de altura, con hojas ovaladas y de color verde oscuro brillante; sus flores son blancas, de aroma dulce y están dispuestas en racimo”. De igual manera RCC (2005), argumenta que “ la planta del café es un arbusto que pertenece a la familia de las rubiáceas y al género *Coffea* alcanza entre 2 y 12 m de altura y puede llegar a vivir 50 años.

3.5 Diámetro de un árbol

Rügnitz, Chacón y Porro (2009), sostienen que “el diámetro de los árboles es medido con la corteza, a la altura del pecho (1.3 m), esta variable se nombra como DAP” (p. 29). Mientras que Hernández, (2011), argumenta que “diametro es una medida que se realiza a una altura de 1.5 m sobre el suelo”(p .26).

3.6 Hojarasca

Larrea (2016), afirma que “hojarasca es una capa superficial en el suelo del bosque de restos orgánicos sueltos que consta de partes de la planta como ramas, hojas y frutos recién caídos y ligeramente descompuestos” (p. 45). Melgarejo, Corro y Ruíz (2015), afirman que “hojarasca comprende toda la necromasa en hojas, flores, frutos y ramas menores de 2 mm de diámetro, en varios estados de descomposición, y que yace sobre el suelo mineral u orgánico” (p. 3).

3.7 Generalidades en la estimación de carbono almacenado

3.7.1 Carbono orgánico (CO₂)

Según FAO (2017), sostiene que “el carbono orgánico del suelo (CO₂) es el carbono que permanece en el suelo después de la descomposición parcial de cualquier material producido por organismo vivo” (p. 1). Mientras Gutiérrez (2008), afirma que “el carbono orgánico del suelo es lo que produce la descomposición de la hojarasca, restos de árboles y de todo ser vivo que habita un ecosistema” (p. 34).

3.7.2 Carbono almacenado

Hurtado (2017) sostiene que “carbono almacenado es el que se encuentra en los bosques principalmente en la biomasa viva, en el subsuelo, también en menor cantidad en la madera muerta y la hojarasca” (p. 17). Mientras que Sotelo y Rodríguez (s. f.), afirman que “carbono almacenado es la cantidad total C contenido por la biomasa en los árboles y seres vivos de un ecosistema” (p. 2). Mientras Castro (s. f.), asevera que “carbono almacenado es el que se encuentra en la biomasa almacenado mediante el proceso fotosintético que realizan las plantas y este se encuentra principalmente en los troncos, ramas, hojas y vegetación leñosa además en raíces y el suelo (animales y microorganismos) (p. 5).

3.7.3 Biomasa

Fernández y Leva (2003), atestiguan que “biomasa forestal se define como el peso seco de materia orgánica que existe en un ecosistema forestal arriba y bajo el suelo” (p. 56). Gómez (2013), afirma que “la biomasa es la cantidad total de materia viva presente en una comunidad o ecosistema” (p. 1).

3.7.4 Ecuación alométrica

Rügnitz, Chacon y Porro (2009), atestiguan que “la ecuación alométrica es una herramienta matemática que permite conocer de forma simple la cantidad de biomasa de

un árbol, en medición de variables como peso seco, datos dimensionales altura, diámetro de los árboles” (p. 51). Carrera (2020), afirma que “las ecuaciones alométricas son regresiones derivadas de mediciones detalladas que relacionan el volumen y diámetro de los árboles con su altura o una variable de interés incluyendo copa y raíz” (p. 59).

3.7.5 Carbono orgánico del suelo

El almacenamiento de carbono en el suelo comprende tres etapas las cuales referimos a continuación:

El secuestro de carbono orgánico del suelo es el proceso mediante el cual el carbono se fija desde la atmósfera a través de plantas o residuos orgánicos y se almacena en el suelo y presenta tres etapas: 1) la extracción del (CO_2) de la atmósfera a través de la fotosíntesis de las plantas; 2) la transferencia de carbono del (CO_2) a la biomasa vegetal; y 3) la transferencia de carbono de la biomasa vegetal al suelo donde se almacena en forma de COS (FAO, 2017, p. 7).

El comportamiento del carbono en el suelo depende de varios factores como los que se detallan a continuación:

Según Martínez, Fuentes y Acevedo (s. f.), sostienen que el carbono orgánico del suelo (COS) se relaciona con la sustentabilidad de los sistemas agrícolas afectando las propiedades del suelo relacionadas con el rendimiento sostenido de los cultivos. El COS se vincula con la cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo, al aportar elementos como el N cuyo aporte mineral es normalmente deficitario. Además, al modificar la acidez y la alcalinidad hacia valores cercanos a la neutralidad, el COS aumenta la solubilidad de varios nutrientes (p. 2).

3.7.6 Suelo

Van konijnenburg (2006), sostiene que “la capa de tierra es donde crecen las raíces y donde las plantas extraen el agua y el alimento para crecer y mantenerse sana” (p. 5). Mientras que INIA (2015), afirma que “el suelo es la capa superficial de la tierra y

constituye el medio en el cual crecen las plantas y es capaz de aportar los nutrientes fundamentales para el crecimiento de los vegetales y almacenar agua de lluvias cediéndola a las plantas a medida que la necesitan” (p. 5).

3.7.8 Materia orgánica del suelo

Según Montané de la Vega (2015), plantea que “ la materia orgánica es con la que cuentan los seres vivos, la cual se va disminuyendo conforme avanza en las cadenas tróficas” (p. 20). Van konijnenburg (2006), afirma que “la capa del suelo esta compuesto de los residuos vegetales y animales en diferentes grado de desconposición” (p. 7).

3.7.9 Densidad aparente

Rubio Gutiérrez (2010), plantea que “la densidad aparente se define como el peso seco del suelo por unidad de volúmen de suelo inalterado, tal cual se encuentra en su emplazamiento natural, incluyendo el espacio poroso” (p. 2).

UNAG, (2013), sostiene que “el método más utilizado para determinar la DA es el del Cilindro. Una de las desventajas de tomar la muestra con el cilindro, es que el valor puede variar con el tamaño del cilindro, siendo mayor la densidad cuando menor es el tamaño del cilindro, a causa de que no se captan los poros de mayor diámetro”. El mismo autor aduce que este “método presenta poca variación, es fácil de repetir y su determinación es sencilla” (p. 10).

3.7.10 Métodos para estimar biomasa y carbono en la vegetación

Fonseca-González (2017), sostiene que “el Método directo es destructivo y consiste en medir las dimensiones básicas de un árbol, cortarlo y determinar la biomasa a través del peso directo de cada uno de los componentes raíces, fuste, ramas y follaje deshidratarlo y pesarlo”(p. 97).

Mena Mosquera (2008), explica que “el método indirecto debe contar con el diámetro a la altura del pecho (DAP) en centímetros, altura total en metros, y la densidad de la madera o la gravedad específica (GE, Mg m^{-3}), se puede calcular el carbono almacenado en la biomasa total de cada árbol” (p. 8). RMCF (2018), explica que “el método indirecto se puede realizar a través del volumen de fuste, por medio de la densidad básica se estima el peso seco y un factor de expansión para calcular el peso seco total” (p. 95).

3.8 Indicadores de composición florística

3.8.1 Biodiversidad con Shannon - Wiener

Herrera (2012), afirma que la “diversidad se define como la variedad de organismos vivientes de todas las especies terrestres, marinos y de los ecosistemas”(p. 11). Estrada Lara (2013), sostiene que “el índice de Shannon (H') considera que los individuos se muestrean al azar a partir de una población indefinidamente grande y que todas las especies que componen la comunidad o hábitat están representadas en la muestra” (p. 4). Mientras Sarmiento (2021), afirma que Shannon-Wiener toma valores entre uno y cuatro puntos cinco, valores superiores a tres son interpretados como diversos” (p. 36).

3.8.2 Abundancia de especies

Herrera (2012), argumenta que “la abundancia especie hace referencia al número de individuos encontradas por hectarea” (p. 10). Mientras Ocmira (2021), argumenta que “la abundancia de especie, es el número de árboles por especie en un sistema agroforestal” (p. 19).

3.8.3 Riqueza de especies

Landero, (2008), argumenta que “la riqueza de especie está formada por especies de plantas, animales, hongos y microorganismos que viven en un espacio determinado, incluyendo además la variabilidad genética”(p. 636). Díaz, C (2016), afirma que “la riqueza de especie (S) se estima a partir del conteo directo de las especies” (p. 357).

3.8.4 Índice de similitud de especies

Díaz Torres (2019), afirma que “el índice de similitud de Bray Curtis se considera como una medida de diferencia entre las abundancias de cada especie presente en dos sistemas” (p. 51). Mientras que MWH Ltda. (2016), argumenta que “el índice de Bray - Curtis toma valores que va de cero a uno, esto representa la similitud de especies que hay entre dos agrosistemas” (p. 89).

3.9 Muestreo

Toléro Díaz (s. f.), indica que “muestreo es la selección de algunas unidades de estudio entre una población definida en una investigación” (p. 7). Rüginitz, Chacon y Porro (2009), afirman que “muestreo es un conjunto de individuos, denominados unidades de muestreo, que presentan características comunes que identifican la población a la que pertenecen” (p. 7).

Muestreo anidado según Domínguez (s. f., p.14) y González V. (2014, p. 27), afirman que “las parcelas anidadas se componen de varias parcelas en una misma área de bosque, una dentro de la otra” (p. 14). Este último autor además sostiene que “éstas pueden estar formadas de 2 y 4 parcelas dependiendo del estudio que se realice”.

3.10 Análisis de componentes principales

Zapotillo (s. f.), afirma que “componentes principales es una técnica estadística multivariante de simplificación, que permite transformar un conjunto de variables originales correlacionadas entre sí” (p. 45). Mientras que Colina y Lopez (s. f.), afirman que “componentes principales es un método algebraico estadístico, que trata de sintetizar y dar una estructura a la información en una matriz de datos” (p. 33).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Ubicación del área de estudio

Boaco está localizado a los 12°28' de latitud norte y 85°39' de longitud oeste, limita al norte con el municipio de Muy Muy, al sur con los municipios de San Lorenzo y Camoapa, al este con el municipio de camoapa y al oeste con San José de los Remates, Santa Lucia y Teustepe; La comarca Loma de cafen se ubica a una distancia de 27 km al sureste de la ciudad de Boaco (MAGFOR, 2013, p. 1).

El municipio de Boaco tiene una población de 49 434 ciudadanos de los cuales 29 434 en el área rural y 20 405 se encuentran en el área urbana con una superficie de 1 086.81 km² representando el 26 % del área total del departamento. Boaco posee un clima variado con una vegetación que va desde tropical húmedo de sabana a bosque a tropical de selva, llegando a tener una temperatura entre 27° C y 30° C en verano y temperatura mínima de 18° centígrados en diciembre, las precipitaciones pluviales oscilan entre 1,200 y 2,000 mm al año (MAGFOR, 2013, p. 45).

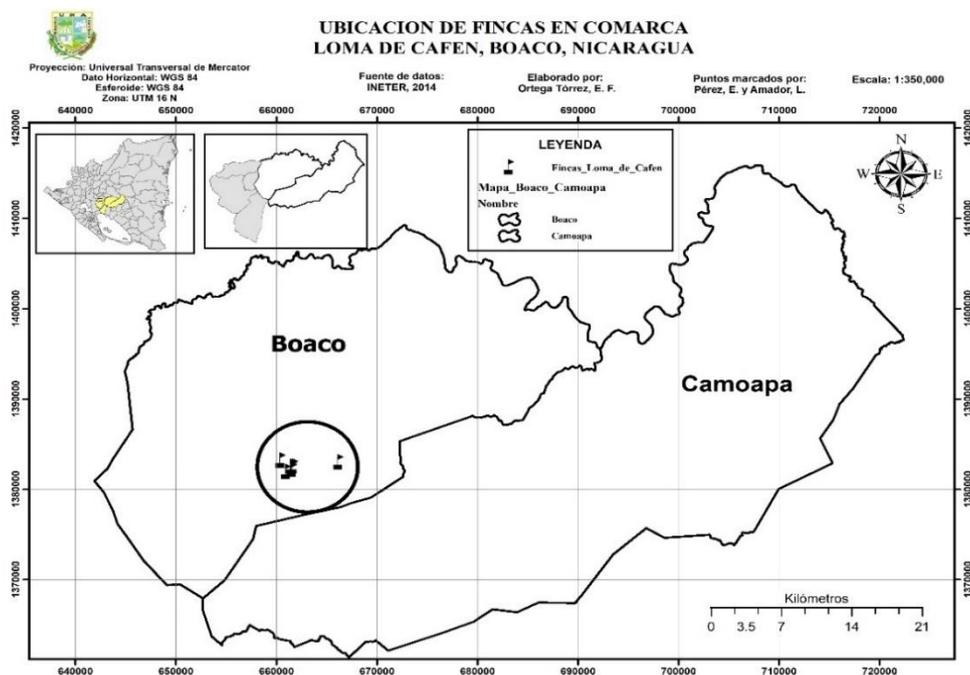


Figura 1. Ubicación del área de estudio para la estimación de carbono en Loma de cafen, Boaco, 2021

Iglesia católica Capilla San Martín de Porre (2021), según censo realizado de la comarca Loma de Cafen afirma que “se encuentra ubicada a 27 km al sureste de la cabecera departamental (Boaco), tiene una población total de 1 013 personas, distribuidas en sector uno y dos” (p. 3).

4.2 Diseño metodológico

La investigación realizada fue no experimental, según Sampieri (2014), refiere que “el diseño fué transversal de tipo correlacional – causal recolectando datos en un momento determinado, cuyo propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en ese momento” (p. 154 – 157). Las variables son independientes sin restricciones pues ya sucedieron, la causalidad y el efecto la establece el investigador según los objetivos de estudio.

El diseño metodológico se desarrollo en tres fases: Fase de planificación, fase operativa y fase de análisis de datos e interpretación de resultados.

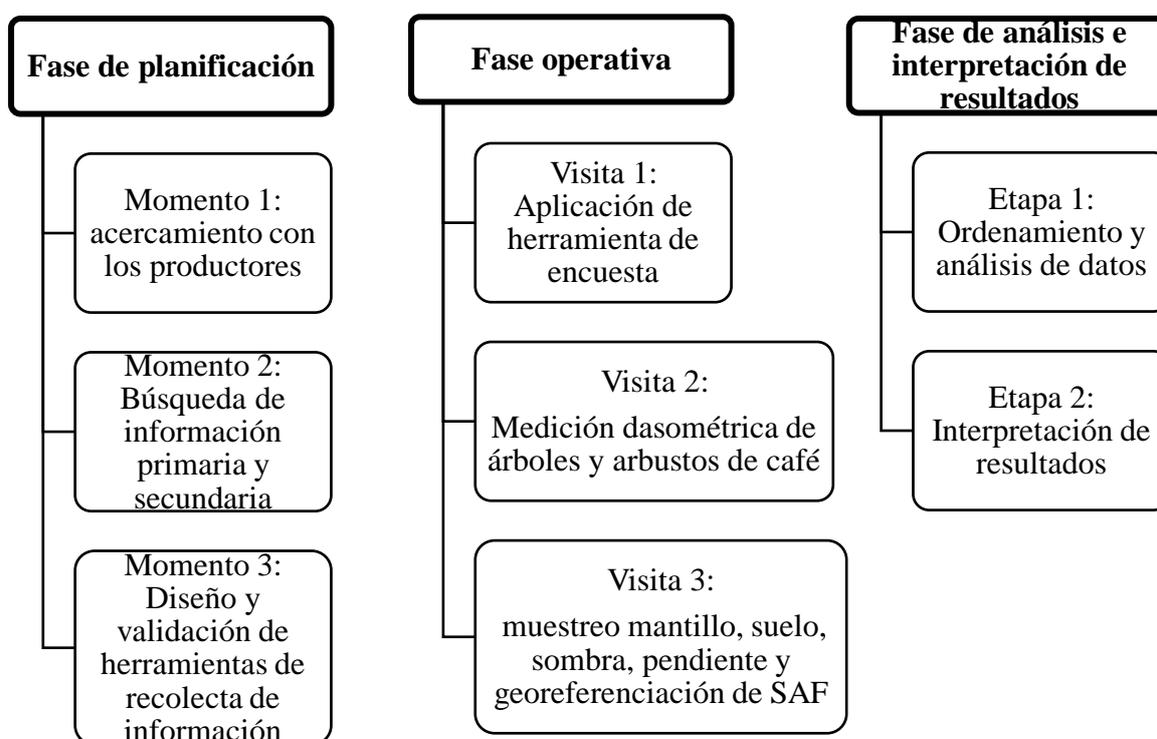


Figura 2. Fases del proceso metodológico

4.2.1 Primera fase o fase de planificación

Consistió en la fase preoperativa o trabajo de gabinete, en donde se definió la idea y se le dió forma por medio de un documento en donde se plasman los detalles de su aplicación, esta fase estuvo conformada por tres momentos, los cuales se describen a continuación.

Primer momento o momento de acercamiento a los productores

También llamado momento de acercamiento a los productores. Consistió en la primer visita para compartir con el productor el propósito y alcance del estudio, se solicitó permiso y apoyo del productor para ingresar a su unidad productiva y acompañamiento a la hora de recolectar datos y durante la encuesta aplicada. Esto se realizó en el mes de febrero del 2021 efectuando un recorrido por todas los SAF de la comarca Loma de Cafen, que además sirvieron para seleccionar la muestra con la cual se trabajó.

Segundo momento o momento de búsqueda de información de fuentes primarias y secundarias

Consistió en la búsqueda de información en fuentes primarias y secundarias. Se buscó información en la base de datos del CENIDA de la Universidad Nacional Agraria, artículos de revistas científicas, documentos de instituciones de gobierno y no gubernamental, además de información previa consultada a productores. Con la información recolectada se elaboró un documento en donde se plasmaron los objetivos y alcances del estudio, además de los detalles técnicos requeridos. Esto se realizó en los meses de marzo y abril.

Tercer momento o momento de diseño y validación herramientas de recolecta de información

Se diseñó las herramientas de recolecta de información como la encuesta, hoja de entrada de datos para la estimación de carbono de arboles, así como también, para los arbustos de café (anexo 5 y 6). Estas herramientas se validaron en un sistema agroforestal con café que no

formó parte de la muestra y nos acompañó uno de nuestros asesores durante el proceso. La encuesta fué validada con apoyo de docentes de la UNA Sede Regional Camoapa y productores de la zona que no formaron parte de la muestra. Este momento se llevo a cabo en el mes de abril.

4.2.2 Segunda fase o fase operativa

Estubo conformada por tres visitas a cada uno de los SAF, la primer visita fué para aplicar la herramienta de encuesta, información que permitió contribuir al cumplimiento del primer objetivo específico. La segunda visita permitió definir la ubicación de las parcelas y su delimitación además, la medición de variables dasométricas de árboles utilizados para sombra en el cafetal y de los arbustos de café, así como su el inventario de árboles.

La tercer visita permitió la medición de variables como el porcentaje de sombra, pendiente del SAF, muestreo de suelo y mantillo, georeferenciación y altitud de la parcela; también se determinó el estado productivo del cafetal calculando su densidad efectiva lo que se utilizó como insumo para determinar el carbono almacenado por los arbustos de café. Esta fase fué ejecutada en los meses de mayo a junio del 2021 y permitió dar respuesta al segundo y tercer objetivo del estudio.

4.2.3 Tercera fase o fase de análisis de datos e interpretación de resultados

Esta fase fue realizada en dos etapas. La primera etapa consistió en ordenar los datos recolectados para luego ser transcritos en los software correspondientes para su procesamiento y análisis, la etapa número dos consistió en realizar la interpretación correspondiente de los resultados por los investigadores para obtener información concluyente.

4.2.4 Definición de la muestra

En la comarca Loma Cafen existen un total de 20 unidades productivas con café bajo sombra con áreas de 0.35 hasta 4.9 ha. Para extraer la muestra se organizaròn los SAF en tres niveles según su área, el primer nivel formado por SAF con áreas de 0.1 a una ha, de las cuales se encontraron ocho SAF, segundo nivel formado por SAF con 1.1 a tres ha, econtrandose 10 SAF y tercer nivel formado por un SAF con más de tres ha.

Se elaboró un cuadro numerado del uno al veinte con los nombres de los productores y área de cada SAF y por sorteo se extrajo una muestra representativa de cada nivel, así del primer nivel se extrajeron tres números, del segundo nivel tres números y del tercer nivel un número, constituyendo la muestra un total de siete SAF con representación de cada nivel (nexo 1).

Cuadro 1. Selección de muestra por sorteo de los SAF con café de la comarca Loma de Cafen, Boaco, 2021.

N°	Nombre de las fincas	Nombres y apellidos	Área del SAF (ha)	Nivel
1	Las Miradas	Isabel Ùrbina Navarro	0.70	1
2	Divino Niño	María Gaitan Amador	0.35	1
3	El Chilamate	Zeneyda García Amador	0.35	1
4	La Herradura	Jairo Hernández Blanco	1.75	2
5	Cielo Azul	Reynaldo García Blanco	1.75	2
6	San Antonio	Félix Zamorán	2.8	2
7	El Progreso	Carlos Lenin Blanco	4.9	3

4.2.5 Parcela de muestreo

Para la recolección de los datos se empleó la técnica del muestreo anidado según: Micha O. Domínguez Li (s. f.), “afirma que las parcelas anidadas se componen de varias parcelas en una misma área de Bòsque, una dentro de la otra” (p. 14). la parcela tuvo una dimensión de diez por diez metros donde se tomarán los datos de los árboles con un DAP ≥ 10 cm.

Se utilizó una parcela de muestreo cuadrada de 10 m x 10 m para inventariar los árboles utilizados para sombra, la parcela se dividió en cuatro cuadrantes, siendo el cuadrante noroeste de 5 x 5 m de donde se obtuvo la de arbustos de café, además en cada vèrtice interno de la parcela se estableció una parcela de 1 m² de donde se colectó el mantillo que serán

promediados y la muestra de suelo para la densidad aparente se tomó del centro de la parcela de 10 x 10 m a una profundidad de 10 cm con ayuda del cilindro de volumen conocido.

Para ubicar la parcela de muestreo se localizó un punto en el centro del SAF con café el cual se marcó como (punto 1 y fué georeferenciado) y a partir de el se localizó una línea con dirección norte con ayuda de una brújula Suunto y una distancia de 10 m se ubicó el punto dos; a partir del primer punto se localizó una línea con dirección este y una distancia de 10 m marcándose como punto tres; a partir del punto tres se localizó una línea en dirección sur y una distancia de 10 m marcándose como punto cuatro, finalmente del punto cuatro se localizó una línea en dirección oeste y una distancia de 10 m.

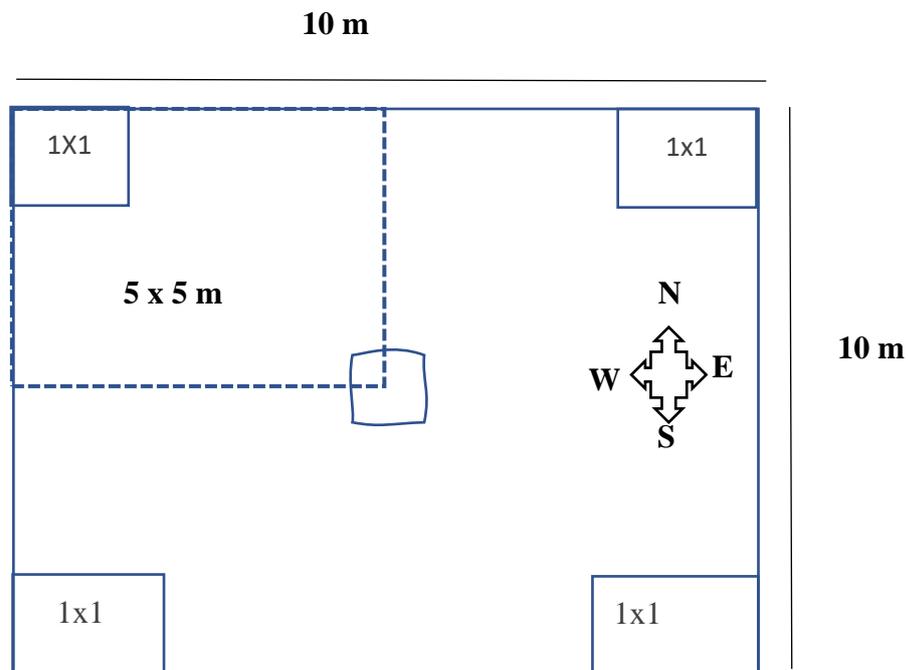


Figura 3. Diseño de la parcela de muestreo con las subparcela

4.2.6 Análisis de datos

Los datos se analizaron con estadística descriptiva y correlacional – causal establecida por el investigador quien determinó cual fué la causa y cual el efecto debido a que son variables independientes y no se pudieron manipular porque ya habían sucedido. Se utilizaron cálculos de medias, porcentajes, frecuencias y representaciones gráficas; la biodiversidad mediante índices y el carbono almacenado por árboles, café, suelo y mantillo por

correlaciones; para su análisis se hizo uso de los software RStudio versión 4.0.5 de R Core Team y los programas Word y Excel de Microsoft office Professional Plus 2016 perteneciente a Microsoft Corporation

4.3 Variables evaluadas

A continuación se describen las variables objeto de estudio y su correspondiente descriptor, indicadores, herramientas y equipos utilizados para la recolección de datos.

Cuadro 2. Matriz de operacionalización de variables.

Variable	Descriptor	Indicador	Herramientas y equipos a utilizar
Características generales de los sistemas agroforestales con café	Describir las características de la unidad productiva, la familia del productor y del SAF con café	Características de la finca Características de la Familia Características del SAF con café	Encuesta Cinta métrica Hoja de entrada de datos Cámara
Composicion florística de árboles en el cafetal	Inventariar todos los árboles mayores o iguales a 10 cm de DAP	Biodiversidad con Shannon Wiener Abundancia arborea Riqueza de especies Índice de similitud de especies Porcentaje de sombra dentro del SAF con café Uso de especies arbóreas según los productores	Hoja de entrada de datos Cabuya Machete Cinta metrica, GPS Densiómetro

Carbono almacenado en el SAF	Estimar las toneladas de carbono almacenado en los SAF con café por parte del suelo, árboles, mantillo y arbustos de café	Carbono almacenado en suelo Carbono almacenado en árboles Carbono almacenado en mantillo Carbono almacenado en arbustos de café Carbono total almacenado en los sistemas agroforestales con café Análisis de componentes principales para carbono almacenado en SAF con café	Hoja de entrada de datos, altímetro HAGA, forcípula, cinta métrica de (30 m), marco cuadrado (un m ²), vernier, pesa digital en gramos, 2 yardas plástico negro, bolsas de papel celofán, pala, cilindro, marcadores permanentes
------------------------------	---	---	--

4.3.1 Características generales de las fincas con café bajo sombra

La fecha para recolectar esta información se definió en la primer visita realizada por los investigadores a las unidades productivas (visita de acercamiento) de común acuerdo con cada uno de los productores. Se cumplió con tres indicadores: características de la unidad de producción, de la familia del productor y del sistema agroforestal con café.

Estos datos se recolectaròn con la herramienta de encuesta que constó de la siguiente estructura principal: títulos de características generales, aspectos sociales, aspectos económicos, aspectos ecológicos y aspectos del manejo del sistema agroforestal con café.

El tercer indicador son las características del sistema agroforestal con café, cuya información se colectó con ayuda de la encuesta y mediciones in situ dentro del SAF, entre ellas la pendiente del terreno utilizando el altímetro HAGA, en consulta al productor se definió las variedades de arbustos de café utilizadas en los SAF, edad del cafetal en años, manejo que brinda al SAF y la densidad de arboles por hectárea que se calculó según transformación de número de árboles por parcela.

4.3.2 Composición florística de árboles en el cafetal

Para recolectar estos datos los investigadores fueron acompañados por el productor, para lograr identificar las especies de árboles presentes en la parcela de muestreo de (10 x 10 m), los investigadores utilizaron el nombre común y posteriormente por comparación realizó la búsqueda del nombre técnico.

Se utilizó una hoja de entrada de datos para registrar el número de especies e individuos por especies (anexo 6), datos que fueron transformados a número de individuos por hectárea y se presentaron en un cuadro de uso de las especies. También se calculó la riqueza específica, índice de diversidad de Shannon Wiener, índice de similitud Bray Curtis utilizando el algoritmo de Ward y dominancia entre especies.

Biodiversidad utilizando el índice de Shannon - Wiener

A partir del inventario de árboles con DAP ≥ 10 cm, se estimó la biodiversidad arborea de cada SAF con café donde se realizó el estudio, se tomaron los rangos que toma encuentra Shannon Wiener que varían de cero a cinco en donde los valores de dos a tres se consideran normales los valores inferiores a dos se consideran bajos mientras que los valores superiores a 3 son de alta biodiversidad de especie. Para este cálculo de la diversidad se utilizó la fórmula sugerida por Pérez, 2004, p. 183.

$$H^S = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

Dónde:

S= número de especies (riqueza de especies)

P_i= proporción de individuos de las especies i respecto al total de individuos

N_i= Número de individuos de la especie

N= Número de todos los individuos de todas las especies

Abundancia de especies

A partir del inventario de árboles con DAP ≥ 10 cm se determinó la abundancia del número de individuos por especie en cada uno de los siete SAF estudiados.

Riqueza de especies

A partir del inventario de árboles con DAP ≥ 10 cm, se determinó la riqueza de especie para cada uno de los siete SAF con café bajo estudio. Basado en el número de especies inventariadas.

Índice de similitud de especies

A partir del inventario de árboles con DAP ≥ 10 cm, se realizó un análisis de conglomerado utilizando el índice Bray - Curtis por medio del algoritmo de Ward. El índice de similitud toma encuentra los valores de 0 a 1 si el valor es cercano a 0 los SAF muestran mayor número de especies en común, mientras que valores cercanos a 1 indican menor número de especies en común. En base al número de especies en común se forman grupos o conglomerados que indican que comparten características similares.

$$BC = \frac{\sum |X_i - X_j|}{\sum (X_i + X_j)}$$

Donde:

BC = Distancia de Bray – Curtis

X_i = comunidad i- esima

X_j = comunidad j – esima

Sombra dentro del SAF con café

Para calcular la sombra dentro del SAF el investigador se ubicó en el centro de la parcela de muestreo y con el uso del densiometro óptico tipo A, realizó cuatro lecturas, una por cada punto cardinal. Cada lectura conformada por la observación de 24 cuadrículas donde cada una representa cuatro cuadrantes y en dependencia del espacio ocupado en el densiómetro por el reflejo de la sombra de los árboles se lee: 1, si solo un cuarto de un cuadrilo esta

ocupado y 4, si todo el cuadrado está ocupado por el reflejo de la copa de los árboles y así respectivamente.

En total son 24 cuadros y cada uno dividido en cuatro cuadrantes para un total de 96, este valor se multiplica por un factor de corrección de 1.04 para proyectar el 96 al 100 % de cobertura respectivamente.

Uso de especies arbóreas según el productor presentes en el SAF con café

Utilizando el inventario arbóreo se consultó a los productores el uso que ellos brindaban a las especies arbóreas presentes en su sistema agroforestal con café, por lo que se procedió a construir un cuadro con todas las especies por finca especificando su uso principal.

4.3.3 Carbono almacenado en los SAF con café

En el caso de árboles en SAF con café, arbustos de café y mantillo se les estimó biomasa seca y posteriormente se utilizó el factor carbono 0.5 para poder calcular carbono almacenado (GCE, sf. p. 42), en el caso del carbono almacenado en el suelo ($t\ ha^{-1}\ C$) se utilizó la fórmula de Andrade & Ibrahim citada por Alvarado, Andrade y Segura (2003, p. 23).

Carbono almacenado en el suelo de los SAF

Se colectó una muestra de suelo de 0.5 kg en cada uno de los vértices internos de la parcela de muestreo de 10 x 10 m, a una profundidad de suelo de 20 cm, estas submuestras se mezclaron, homogenizaron, tamizaron y se obtuvo una muestra compuesta de 1 kg que se envió al laboratorio de suelos y aguas de la Universidad Nacional Agraria donde se determinó carbono orgánico C.O. en (%), textura y pH.

En el centro de la parcela de muestreo de 10 x 10 m se tomó una muestra de suelo a 10 cm de profundidad de forma horizontal con un cilindro de volumen conocido con las dimensiones de 10 cm de longitud y 5 cm de diámetro interno cuya muestra fue enviada a

laboratorio de suelos y aguas de la Universidad Nacional Agraria donde se determinó densidad aparente (DA) en g cm^{-3} . Las muestras enviadas al laboratorio fueron rotuladas con la siguiente información: nombre de la finca, comarca, municipio, fecha, sistema productivo, profundidad de muestreo, análisis.

Los datos de DA y C. O. se utilizaron en la formula citada por Andrade & Ibrahim (2003, p. 115), para calcular carbono almacenado en el suelo, el resultado fué transformado a toneladas por hectárea de carbono almacenado en el suelo:

$$COS = Ps \times DA \times CO$$

Donde:

Ps: Es la profundidad del suelo de donde se obtuvo la muestra, se midió en centímetros

CO: Es el carbono orgánico (%) obtenido en el análisis de suelo a partir de la materia orgánica

DA: Es la densidad aparente del suelo (g por cm^3)

Carbono almacenado por árboles en los SAF con café

Se realizó inventario de especies arbóreas con diámetro a la altura del pecho $DAP \geq 10$ cm a a los que se les midió altura en metros y DAP en centímetros, dentro de la parcela de muestreo de 10×10 m (100 m^2), el dato de diámetro fue utilizado en la ecuación alométrica propuesta por Suárez, S.egura y Kanninen (2004, p. 115) para calcular biomasa seca (kg biomasa seca) de árboles en cafetal la que se multiplicó por el factor carbono de 0.5, para obtener kg de carbono cuyo dato fué transformado a t ha^{-1} de carbono almacenado. Para esta variable se utilizó cinta metrica de 30 m, altímetro HAGA, forcípula y hoja de entrada de datos (anexo 7).

Ecuación alométrica con un $R^2_{\text{adj}} = 0.94$ para árboles menores o iguales a 50 cm de DAP.

$$\text{Log } 10B = -0.9578 + 2.3408 * \text{log } 10 (D)$$

Donde:

B= biomasa aérea total (kg planta⁻¹);

D= diámetro del tronco a 1.30 m del suelo

Carbono almacenado por el mantillo en los SAF

En cada uno de los vértices de la parcela de muestreo se colectó el mantillo presente en la parcela de muestreo de un m² y se pesó en gramos y posteriormente se transformó el dato a toneladas de mantillo fresco por hectárea. Las submuestras colectadas una vez pesadas se mezclaron y homogenizaron logrando una submuestra de 50 g que fue deshidratada en horno mufla a una temperatura de 65° C hasta lograr un peso constante y obteniendo materia seca, la que se multiplicó por el factor carbono de 0.5 (GCE, s.f . P. 42) y posteriormente el dato resultante se transformó a toneladas por hectárea.

Donde:

$$PTS = PTH / (1 + \%H) / 100$$

PTS = Peso total seco (kg)

PTH= Peso total húmedo (kg).

%H = porcentaje de humedad de la sub muestra 15

1= Constante

100= Constante para transformar en fracción

Carbono almacenado por arbustos de café en los SAF

A los arbustos de café presentes en la parcela de muestreo de 5 x 5 m (25 m²) ubicada en la esquina noroeste de la parcela de (10 x 10 m) se les midió su altura en metros desde la base de la planta a ras del suelo hasta el ápice de la misma y DAP (cm), 15 cm arriba de la superficie del suelo.

Los datos de DAP y altura se utilizaron en la fórmula propuesta por (Suárez *et. al.*, 2004. p. 118), con un $R^2_{adj} = 0.95$, específicamente para arbustos de café determinando biomasa seca que luego se multiplicó por el factor carbono de 0.5 (GCE, s.f., p. 42) cuyo resultado se

multiplicó por la densidad efectiva de arbustos de café por hectárea y posteriormente fue transformado a toneladas de carbono almacenado por hectárea. La densidad efectiva fue calculada utilizando el diagnóstico del estado productivo del cafetal, según CATIE, (2009, p. 46) ver en anexo 4.

$$\log 10B = -1.15 + 1.66 * \log 10 (D15) + 0.54 * \log 10 (h)$$

Donde:

B = biomasa aérea total (kg planta⁻¹);

D15 = diámetro del tronco a 15 cm del suelo

H = es la altura (m) con un R²adj = 0.95

Carbono total almacenado en los sistemas agroforestales con café

Se realizó la sumatoria de las fuentes de carbono almacenado determinados anteriormente por cada uno de los SAF información que, se utilizará para determinar los posibles otros ingresos que el productor podría percibir en concepto de pago por servicios ambientales

Análisis de componentes principales para carbono almacenado en SAF con café

Se utilizaron 20 indicadores con menos de 50 observaciones a los que se les realizó prueba de normalidad con Shapiro Wilk resultando que 19 indicadores no presentaron normalidad en sus observaciones a excepción del indicador especies que si mostró normalidad en sus observaciones. La normalidad se puede expresar como la distribución de los datos con respecto a su media. Posteriormente se aplicó a los 20 indicadores todos contra todos la prueba no paramétrica de correlación de Spearman para determinar la existencia de relación entre ellos, así como la fuerza y sentido de dicha relación.

La correlación utiliza valores de 0 y 1 a medida que la relación se acerca a 1 se considera más fuerte y a medida que se acerca a cero es más débil. El sentido está determinado por el signo que antecede al valor, si el valor es positivo indica una relación directa entre dos indicadores o sea que si aumenta uno también lo hará el otro indicador, pero si es negativo

indica una relación inversa o sea que si aumenta uno el otro indicador disminuye. Para este método se utilizó el software RStudio versión 4.0.5.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Características generales de los sistemas agroforestales con café de la comarca Loma de Cafen

Aplicando la encuesta estructurada para los productores se recolectó información de las características de las fincas, de las familias y de los sistemas agroforestales, mientras que los valores fisicoquímicos del suelo en el SAF fueron obtenidos por muestreo y posterior análisis en UNA - LABSA 2021 cuyos resultados están basados en Quintanilla, et. al., 1993.

5.1.1 Finca EL Progreso

Características generales de la finca

El rubro café representa el 67.49 % del área de la finca que es de 7.26 ha el área restante con cultivo de yuca, granos básicos e infraestructura, la cual, está construida de ladrillo de barro, techo de zinc, piso de concreto; poseen agua propia para el uso doméstico y lavado del café, además la propiedad está legalmente constituida desde hace 12 años.

Características generales de la familia

La familia está formada por seis miembros, dos de ellos estudiaron solamente la primaria, tres estudian secundaria y uno es profesional de las ciencias agrarias. La familia cuenta con los servicios básicos, radioeléctrica, electricidad convencional, servicio de salud pública, telefonía celular móvil y televisión. El productor no contrata a menores de edad para la recolección del grano, pero si mujeres y varones mayores de edad.

Esta unidad de producción genera otros ingresos por la venta de raíces yuca la que es comercializada en el mercado municipal de Boaco y Camoapa a un precio de 350 córdobas los 45 kg y en menor cantidad la producción de cítricos; los granos básicos los producen para el consumo familiar y en menor escala la producción apícola.

Características generales del SAF con café

El SAF se localiza a una altitud de 758 msnm con una pendiente de 29 % en un suelo con textura arcillosa cuyo pH es ligeramente ácido de 5.67 y una densidad de aparente de 1.15 y alta materia orgánica de 7.58 %. La variedad de café utilizada es Catimor de cogollo rojo, según el productor las enfermedades y plagas más comunes son antracnosis y broca, en las labores de cosecha se recolecta la uva sin selección, el despulpado del café lo realiza diario, la pulpa la deposita fresca en el cafetal y las aguas mieles las trata en sumideros y finalmente el café es entregado en pergamino oreado al acopio.

Según el productor las labores que realiza en el cultivo de café son la poda sanitaria y de formación realizadas entre los meses de marzo a abril, mientras que en los árboles las realizan después del ciclo de producción.

5.1.2 Finca San Antonio

Características generales de la finca

El rubro café representa el 46 % del área de la finca que es de 4.21 ha el área restante con cultivo de granos básicos e infraestructura, la cual, está construida de ladrillo de barro, techo de zinc, piso de concreto; poseen agua propia para el uso doméstico y lavado del café, además la propiedad está legalmente constituida desde hace 15 años.

Características generales de la familia

La familia está formada por cuatro miembros, dos de ellos estudiaron solamente la primaria, uno estudia secundaria y uno es docente de primaria. La familia cuenta con los servicios básicos, radioeléctrica, electricidad convencional, servicio de salud privada, telefonía celular móvil y televisión satelital. El productor no contrata a menores de edad para la recolección del grano, pero si mujeres y varones mayores de edad.

Características generales del SAF con café

El SAF se localiza a una altitud de 620 msnm con una pendiente de 30 % en un suelo con textura arcillosa cuyo pH es moderadamente ácido de 5.63 y una densidad aparente de 1.16 y alta materia orgánica de 7.40 %. La variedad de café utilizada es Catimor de cogollo rojo, según el productor las enfermedades y plagas más comunes son antracnosis y broca, en las labores de cosecha se recolecta la uva sin selección, el despulpado del café lo realiza a diario y minador de la hoja, la pulpa la amontonan y las aguas mieles las trata en sumideros y finalmente el café es entregado en pergamino oreado al acopio.

Según el productor las labores que realiza en el cultivo de café son podas sanitaria y de formación realizadas en el mes de abril, mientras que en los árboles realizan podas de mantenimiento después del ciclo de producción o en el mes de junio.

5.1.3 Finca Las Miradas

Características generales de la finca

El rubro café representa el 100 % del área de la finca que es 0.7 ha, e infraestructura, la cual, está construida de techo de zinc, piso de tierra, poseen agua propia para el uso doméstico también la utilizan para el labado del café durante el ciclo de producción; poseen agua propia para el uso doméstico y lavado del café, además la propiedad está legalmente constituida desde hace 30 años.

Características generales de la familia.

La familia está formada por dos miembros, los dos fueron alfabetizados por programas de alfabetización del gobierno. La familia cuenta con los servicios básicos, radioeléctrica, electricidad convencional, servicio de salud pública, telefonía celular móvil y televisión satelital. El productor no contrata a menores de edad para la recolección del grano, pero si mujeres y varones mayores de edad.

Esta unidad de producción genera otros ingresos, no agrícolas recibe remesa de un familiar que vive en el extranjero.

Características generales del SAF con café

El SAF se localiza a una altitud de 602 msnm con una pendiente de 22 % en un suelo con textura franco arcillosa cuyo pH es neutro de 6.18 y una densidad de aparente de 1.16 y alta materia orgánica de 7.26 %. La variedad de café utilizada es catimor de cogollo rojo, según el productor las enfermedades y plagas más comunes son antracnosis y broca, en las labores de cosecha se recolecta la uva sin selección, el despulpado del café lo realiza a diario, la pulpa la amontanan y las aguas mieles las trata en sumideros y finalmente el café es entregado como pergamino oreado al acopio.

Según el productor las labores que realiza en el cultivo de café son la podas de sanitaria y de formación realizadas en el mes de mayo, mientras que en los árboles realizan podas de mantenimiento después del ciclo de producción o en el mes de junio.

5.1.4 Finca La Herradura

Características generales de la finca

El rubro café representa el 50 % del área de la finca que es de 1.40 ha el área restante con cultivo de granos básicos e infraestructura, la cual, está construida de ladrillo de barro, techo de zinc, piso de concreto; poseen agua propia para el uso doméstico y lavado del café, además la propiedad está legalmente constituida desde hace 25 años.

Características generales de la familia.

La familia está formada por ocho miembros, dos de ellos estudiaron solamente la primaria, tres estudiaron secundaria y dos de ellos estudiaron aun la primaria. La familia cuenta con los servicios básicos, radioeléctrica, electricidad convencional, servicio de salud pública,

telefonía celular móvil y televisión. El productor no contrata a menores de edad para la recolección del grano, pero si mujeres y varones mayores de edad.

Esta unidad de producción genera otros ingresos con la venta de cítricos que produce el SAF en dos temporadas en la época de invierno y en la época seca, el productor no especificó la cantidad de dinero que ingresa por la producción de cítricos.

Características generales del SAF con café

El SAF se localiza a una altitud de 639 msnm con una pendiente de 35 % en un suelo con textura franco arcillosa cuyo pH es moderadamente ácido de 5.67 y una densidad de aparente de 1.09 y alta materia orgánica de 4.17 %. La variedad de café utilizada es Catimor de cogollo rojo y marcelleza, según el productor las enfermedades y plagas más comunes son antracnosis y broca, en las labores de cosecha se recolecta la uva sin selección, el despulpado del café a diario y minador de la hoja, la pulpa la amontan y las aguas mieles las trata en sumideros y finalmente el café es entregado en pergamino oreado al acopio.

Según el productor las labores que realiza en el cultivo de café, podas de sanitaria y de formación realizadas en los meses de abril y mayo, mientras que en los árboles realizan podas de mantenimiento después del ciclo de producción.

5.1.5 Finca Cielo Azul

Características generales de la finca

El rubro café representa el 71.42 % del área de la finca que es de 2.45 ha el área restante con cultivo de granos básicos e infraestructura, la cual, está construida de ladrillo de barro, techo de zinc, piso de concreto; poseen agua propia para el uso doméstico y lavado del café, además la propiedad está legalmente constituida desde hace 10 años.

Características generales de la familia

La familia está formada por dos miembros, uno de ellos estudia solo secundaria y el otro estudia docencia de primaria. La familia cuenta con los servicios básicos, radioeléctrica, electricidad convencional, servicio de salud pública, telefonía celular móvil y televisión. El productor no contrata a menores de edad para la recolección del grano, pero si mujeres y varones mayores de edad.

Además un miembro de la de la familia aporta ingresos no agrícolas en concepto del trabajo de docencia en la escuela de la comunidad.

Características generales del SAF con café

El SAF se localiza a una altitud de 705 m.s.n.m con una pendiente de 28 % en un suelo con textura arcillosa cuyo pH es moderadamente ácido de 5.89 y una densidad de aparente de 1.06 y alta materia orgánica de 6.0 %. La variedad de café utilizada es Catimor de cogollo rojo, según el productor las enfermedades y plagas más comunes son antracnosis y broca, en las labores de cosecha se recolecta la uva sin selección, el despulpado del café a diario y minador de la hoja, la pulpa la amontonan y las aguas mieles las trata en sumideros y finalmente el café es entregado en pergamino oreado al acopio.

Según el productor las labores que realiza en el cultivo de café, poda sanitaria y de formación realizadas en los meses de abril y mayo, mientras que en los árboles realizan podas de mantenimiento después del ciclo de producción o en el mes de junio

5.1.6 Finca El Chilamate

Características generales de la finca

El rubro café representa 100 % del área de la finca que es de 0.35 ha e infraestructura, la cual, está construida de piedra cantera y tabla, techo de zinc, piso de tierra, poseen un ojo

agua propia para uso doméstico y para el lavado del café en la época de producción, además la propiedad está legalmente constituida desde hace 4 años.

Características generales de la familia.

La familia está formada por cinco miembros, dos de ellos estudiaron solo secundaria, uno aun estudia secundaria y dos aun estudian la primaria. La familia cuenta con los servicios básicos, radioeléctrica, electricidad convencional, servicio de salud pública, telefonía celular móvil y televisión. La productora no contrata personas para la recolección la realiza la misma familia.

Características generales del SAF con café

El SAF se localiza a una altitud de 635 m.s.n.m con una pendiente de 32 % en un suelo con textura arcillosa cuyo pH es de 6.08 moderadamente ácido y una densidad aparente de 1.42 y alta materia orgánica de 6.03 %. La variedad de café utilizada es Catimor de cogollo rojo, según el productor las enfermedades y plagas más comunes son antracnosis y broca, en las labores de cosecha se recolecta la uva solo rojo y pinto, el despulpado del café lo realizan a diario, la pulpa la amontonan y las aguas mieles las trata en sumideros y finalmente el café es entregado en pergamino oreado al acopio.

Según el productor las labores que realiza en el cultivo de café, podas de sanitaria y de formación realizadas en los meses de mayo, mientras que en los árboles realizan podas de mantenimiento después del ciclo de producción.

5.1.7 Finca Divino Niño

Características generales de la finca

El rubro café representa el 20 % del área de la finca que es de 1.75 ha, el área restante con cultivo de granos básicos frutales e infraestructura, la cual, está contruida de tabla de madera,

techo de zinc y piso de madera; posee un poso propia para el uso doméstico y lavado del café, además la propiedad está legalmente constituida desde hace 6 años.

Características generales de la familia.

La familia está formada por dos miembros, uno de ellos fue alfabetizado por programas del gobierno y uno estudió licenciatura en administración de empresa. La familia cuenta con los servicios básicos, radioeléctrica, electricidad convencional, servicio de salud pública, telefonía celular móvil y televisión. La productora no contrata a niños menores de edad solo a personas mayores.

Características generales del SAF con café

El SAF se localiza a una altitud de 652 m con una pendiente de 22 % en un suelo con textura arcillosa cuyo pH es moderadamente ácido de 5.88 y una densidad aparente de 1.24 y alta materia orgánica de 4.41 %. La variedad de café utilizada es Catimor de cogollo rojo, según el productor las enfermedades y plagas más comunes son minador de la hoja, broca y antracnosis en las labores de cosecha se recolecta la uva solo rojo y pinto, el despulpado del café lo realizan a diario, la pulpa la amontanan y las aguas mieles las trata en sumideros y finalmente el café es entregado en pergamino oreado al acopio.

Según la productora las labores que realiza en el cultivo de café son la podas de sanitaria y de formación realizadas en los meses de abril y mayo, mientras que en los árboles realizan podas de mantenimiento después del ciclo de producción.

Cuadro 3. Resumen de las características generales de la finca, la familia y el SAF con café.

Fincas/ características	El Pogre so	San Antonio	Las Mirada s	La Herradur a	Cielo Azul	El Chila mate	Divin o Niño
Área fincas (ha)	7.26	4.21	0.7	1.40	2.45	0.35	1.75
Área del SAF (ha)	4.9	2.8	0.7	0.7	1.75	0.35	0.35
Nº miembros de la familia	6	4	2	8	2	5	2

Altitud (m)	758	620	602	639	705	635	652
Pendiente SAF (%)	29	30	22	35	28	32	22
Materia orgánica %	7.58	7.40	7.26	4.17	6	6.03	4.41
ph	5.67	5.63	6.18	5.67	5.89	6.08	5.88
Tipo de suelo	arcilloso	arcilloso	arcilloso	arcilloso	arcilloso	Arcilloso	arcilloso
Variedad café	Catimor	Catimor	Catimor	Catimor marselleza	Catimor	Catimor	Catimor

5.2 Composición florística de árboles en el cafetal

5.2.1 Biodiversidad arbórea utilizando el índice de Shannon Wiener

La figura 4 indica que el SAF donde se encontró la mayor diversidad fue la finca San Antonio con 1.93, seguido en orden descendente por las fincas Las Miradas con 1.88, El Progreso 1.74, Divino Niño con 1.74, La Herradura con 1.73, Cielo Azul con 1.15 y la finca El Chilamate con 1.15 respectivamente.

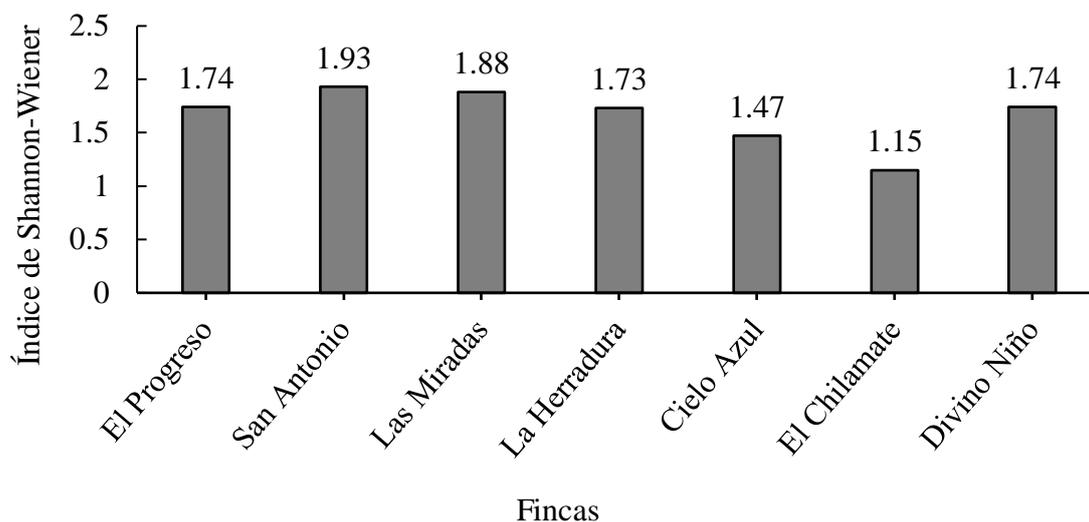


Figura 4. Biodiversidad arbórea utilizando el índice de Shannon - Wiener

Martínez (2020), afirma que “Shannon-Wiener toma valores que varían de 0.5 y 5 aunque su valor normal esta entre 2 y 3, valores inferiores a 2 se consideran bajos en diversidad y superiores a 3 son de alta diversidad de especie” (p. 56). Suárez Vásquez (2019), manifiesta que “índice Shannon-Wiener aumenta a medida que la riqueza de especies y los individuos se distribuyen homogéneamente entre todas las especies” (p. 38).

Chacón (2020) ha reportado “índice de Shannon Wiener de 2.6” (p. 28), por su parte Ortega (2020) encontró “índice de Shannon Wiener de 2.53 a 2.08” (p. 54), mientras que Sarmiento (2021) reporta “índice de Shannon de 1.88 a 2.42” (p. 48). El mismo autor afirma que “Shannon toma valores en un rango de 1 a 4.5 y que valores mayores a 3 son considerados diversos” (p. 9), además afirma que “los SAF con café con árboles diversos enriquecen de forma natural el suelo con el follaje caído y proveen otros beneficios como leña y frutas” (p. 6).

El índice de biodiversidad arbórea encontrado en los siete SAF fué de 1.93 a 1.15 inferiores a los encontrado por Chacón (2020, p. 28), y similar a lo reportado por Sarmiento, (2021, p. 48) de igual manera se coincide con el argumento de Suárez Vásquez (2019, p. 38).

La unidad productiva que presentó la mayor diversidad fué la finca San Antonio con 1.93 resultado atribuido a la abundancia de especies y al número de individuos por especie en cambio; la finca El Chilamate presentó el menor índice de diversidad con 1.15. Estos resultados encontrados se consideran bajos en las siete fincas coincidiendo con el argumento de Martínez (2020, p. 56).

5.2.2 Abundancia arbóreas en SAF con café

La abundancia arbórea es un reflejo de beneficios ambientales como la conservación de biodiversidad, mejora del suelo tanto físico, químico y biológico, además de propiciar un microclima específico y almacenamiento de carbono a través de la biomasa.

En la figura 5 se observa la abundancia de individuos arbóreas encontradas en las siete fincas, siendo la finca San Antonio la que mostró la mayor abundancia con 54 individuos predominando *Inga* sp, seguida en orden descendente por las fincas El Progreso con 29 especies y Cielo Azul con 27 especies predominando en ambas *Cordia alliodora*, finca El Chilamate con 24 especies predominando *Citrus sinensis*, Divino Niño con siete predominando *Spathodea campanulata*, La Herradura con cinco predominando *Gliricidia sepium* y *Mangifera indica* y finca Las Miradas con cuatro especies respectivamente.

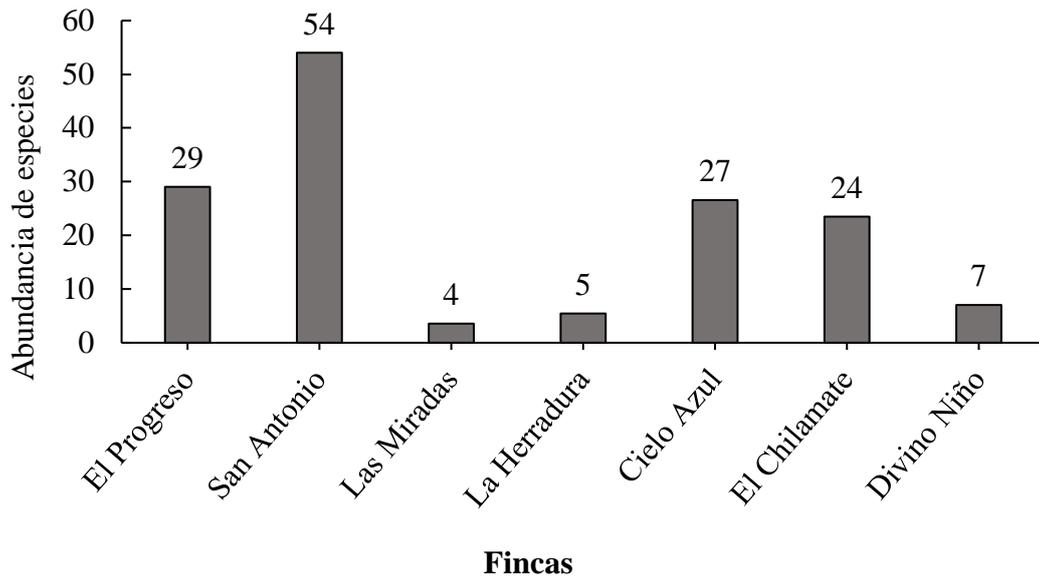


Figura 5. Abundancia de arboles por SAF con café

Suárez Vásquez (2019), manifiesta que “abundancia de especie hace referencia a la relación con el número total de individuo encontradas en el ecosistema” (p 14). Es así como Sarmiento (2021) en su estudio afirma que “encontró abundancia de especie de las familias *Acanthaceae* 10 individuos y *Rutaceae* con 103 individuos siendo los que reportaron mayor abundancia en los sistemas agroforestales” (p. 51).

5.2.3 Riqueza de especies arbóreas en SAF con café

La abundancia de especies es importante porque hay mayor diversificación en los SAF con café lo que le permitiría al productor obtener mayores beneficios de las especies presentes en el sistema, económicos, ambientales, alimenticios, y conservación de la fauna..

En la figura 6 se observa la riqueza de especies arbóreas encontradas en las fincas investigadas, en primer lugar, la finca Cielo Azul mostró la mayor riqueza con 15 especies, en segundo lugar, las fincas El Progreso, San Antonio, El Chilamate con 13 especies cada una y finalmente en tercer lugar, las fincas Las Miradas, La Herradura y Divino Niño con 12 especies cada una.

Se identificó un total 85 plantas utilizadas para sombra en el cafetal, se organizaron en 16 familias y 22 especies respectivamente. Las especies predominantes fueron *Cordia alliodora*, *Guazuma ulmifolia* y *Citrus sinensis*. Las familias con la mayor cantidad de especies fueron *Rutaceae* con cinco especies y *Bignoniaceae* con tres especies entre los siete SAF con café.

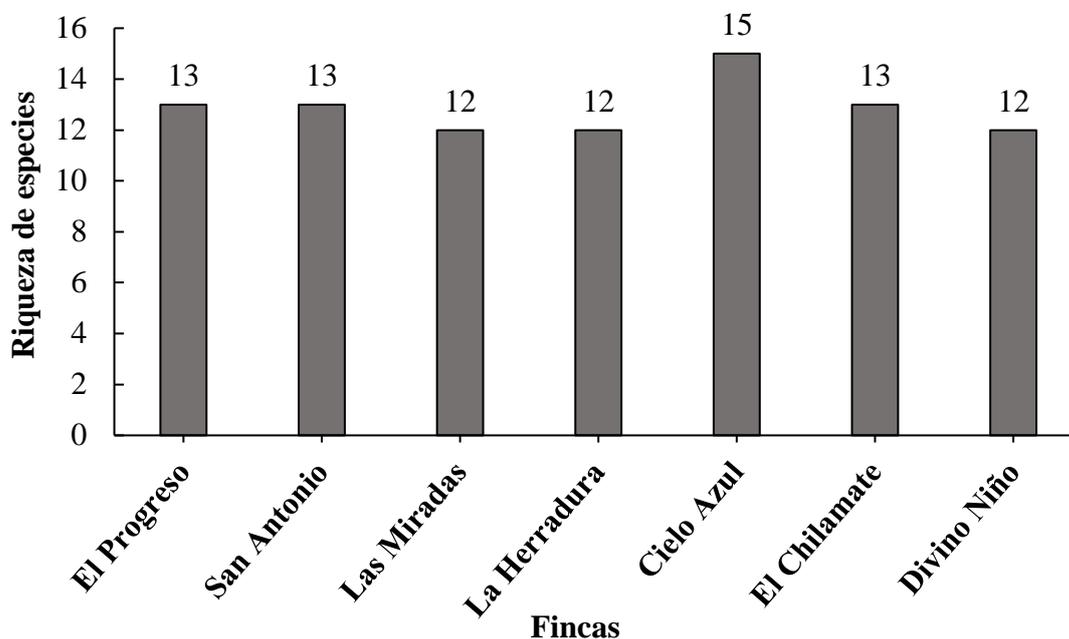


Figura 6. Riqueza de especies arbóreas en SAF con café

Suárez Vásquez (2020), afirma que “la riqueza de especies es un conjunto de comunidades que integran un ecosistema”. El mismo autor afirma “haber encontrado riqueza de 57 especies con predominio de las familias *Lauraceae*, *Fabaceae* y *Rubiaceae*” (p. 81). Por su parte Enríquez (2016), ha reportado “riqueza de 67 especies, predominado las familias *Fabaceae*, *Meliaceae*, *Boraginaceae*, *Rutaceae* y *Malvaceae*” (p. 28).

Bustamante (2018), reporto “riqueza de 73 especies dentro de las cuales se destacan las familia de *Fabaceae*, *Lauraceae*, *Meliaceae*, *Myrtaceae*, *Aceraceae*” (p. 28). García (2015), reporta “haber encontrado 51 especies representadas mayormente por las familias *Fabaceae*, *Lauraceae*, *Moraceae* y *Malvaceae*” (p. 39).

En los siete SAF con café investigados en la comarca Lomas de Cafen se encontró riqueza de especies de entre 15 a 13 especies destacándose entre ellas *Cordia alliodora* con 11 individuos, *Guazuma ulmifolia* con once y *Citrus sinensis* con nueve individuos. Se logró constatar que los géneros *Cordia*, *Citrus* e *Inga* se encontraron en cuatro de las siete fincas.

5.2.4 Índice de similitud de las especies arbóreas utilizando la distancia de Bray Curtis

En la figura 7 se representa la distancia de Bray – Curtis entre los siete SAF investigados, se observa la conformación de tres grupos en base al número de especies e individuos compartidos al ser comparados de par en par los siete SAF. El grupo con mayor similitud o semejanza en términos de composición florística está conformado por las fincas San Antonio y El Progreso que comparten cinco de las 22 especies encontradas entre ellas *Inga sp.*, *Cordia aliadora*, *Elytraria imbricata*, *Citrus latifolia* y *Citrus paradisi*.

El grupo con la segunda mayor similitud está compuesto por las fincas Cielo Azul, Las Miradas y Divino Niño las dos primeras comparten cuatro especies y las dos últimas tres especies y entre las tres comparten una especies siendo las especies involucradas, *Tabebuia rosea*, *Pouteria sapota*, *Citrus sp.*, *Inga sp.*, *Cordia aliadora* y *Guazuma ulmifolia* siendo esta última la única que se encuentra en las tres fincas.

Finalmente el grupo numero tres fue el de menor similitud conformado por las fincas el chilamate y la herradura que comparte una sola especies siendo esta *Citrus sp.*

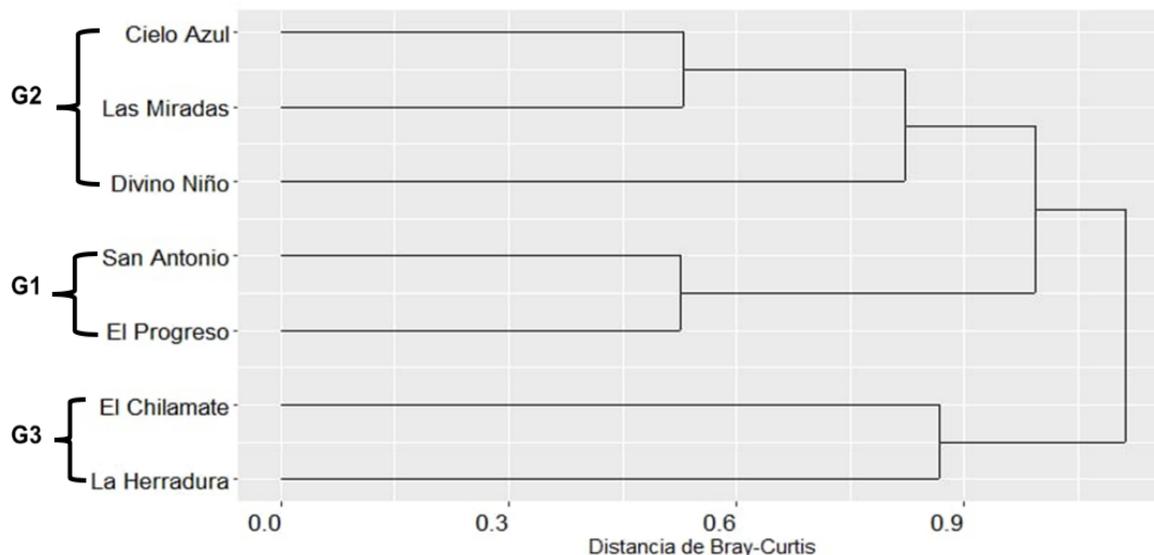


Figura 7. Dendrograma representando un análisis de conglomerado del índice de similitud utilizando Bray Curtis y el algoritmo de Ward

Díaz Tórrez (2019), afirma que “la distancia de Bray-Curtis o diversidad beta determina la distancia ecológica entre dos agroecosistemas o dos subsistemas dentro de un mismo agroecosistema”. El mismo autor aduce que “los valores de similitud oscilan de 0 a 1. Si el valor es cercano a 0 los agroecosistemas son completamente diferentes en cuanto a su composición taxonómica” (p. 15). Mientras que García (2018), comenta que “valores cercanos a 0 muestran menor número de especies compartidas entre los sitios y valores cercanos a 1 muestran mayor número de especies en común” (p. 118).

López Quiñones (2011), afirma que “en su estudio encontró especies compartidas en un 60 % entre las cuales se encuentran *Cordia alliodora*, *Guazuma ulmifolia* y *Citrus sinensis*” (p. 27), similares a los resultados de este estudio. Mientras que Espinosa (2016), afirma haber encontrado “similitud de especies en cafetales compartiendo un 50 % con bosque secundario, que posee el mismo porcentaje de especies en las que menciona *Cordia aliadora*, *Inga Mill*, *Mangifera indica* y *Persea americana*” (p. 13)

Según los resultados obtenidos y de acuerdo con la base de datos del inventario arbóreo las fincas San Antonio y El Progreso comparte al menos nueve especies de las 22 encontradas

en las siete fincas ubicándolo como el de mayor similitud, seguido por las fincas Cielo Azul, Las Miradas y Divino niño que comparten al menos seis especies de las 22 encontradas y finalmente con el menor índice de similitud las fincas El Chilamate y La Herradura que comparte al menos una especie de las 22 encontradas en las siete fincas.

5.2.5 Porcentaje de sombra en los SAF con café

En la figura 8 se observa el porcentaje de sombra encontradas en las fincas investigadas. En primer lugar se ubica la finca Divino niño con 85 % en seguido en orden decreciente por El Chilamate con 68, finca San Antonio con 65, La Herradura con 60, El Progreso 57, Cielo Azul 56 y finca Las Miradas con 49 % respectivamente.

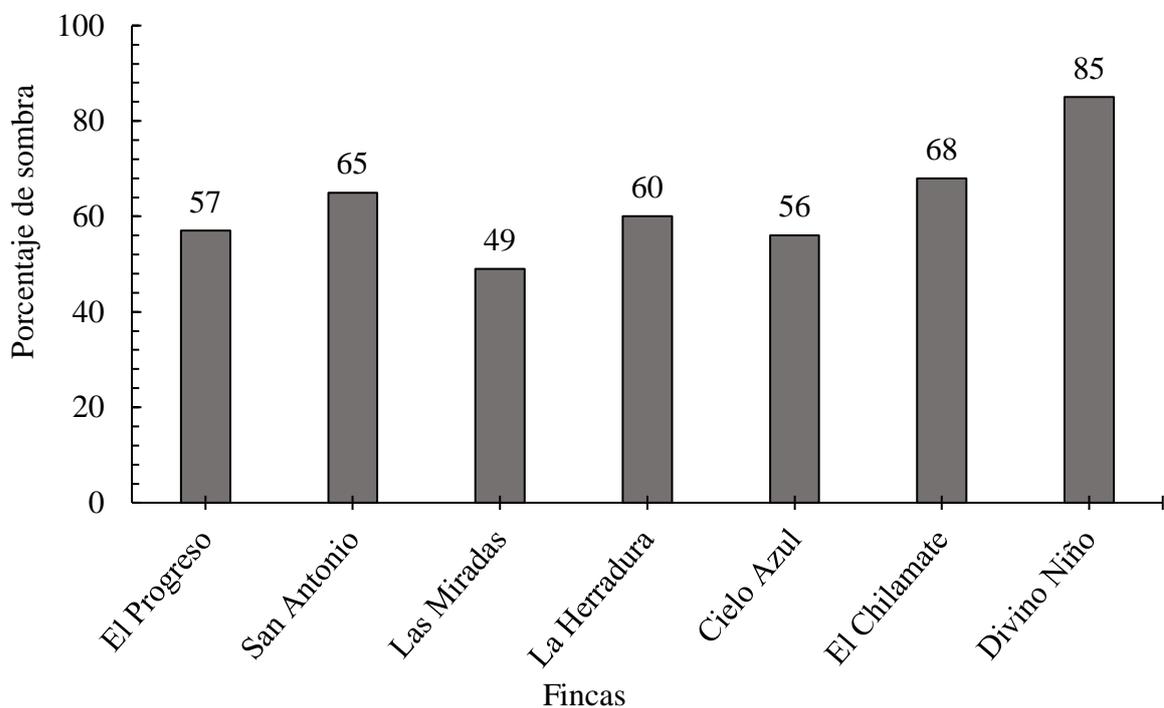


Figura 8. Porcentaje de sombra en los SAF con café

MOCCA (s. f.) afirma que “el porcentaje de sombra depende de las condiciones del lugar, principalmente el clima, altura y la fertilidad del suelo” (p. 11). Fernández (2018), afirma que “el porcentaje de sombra recomendado para el cultivo de café es de 60 % en época seca

y de 30 % en época de lluviosa” (p . 6). Mientras que Pérez y Suárez (2011), argumentan haber “encontrado en su estudio 48 % de sombra en el cultivo de café” (p. 10).

Campos (s.f.), afirma que “la sombra optima para el cultivo de café debe ser de 49 % para un buen desarrollo del arbusto de café”(p. 14). El promedio encontrado en el estudio es superior al mínimo solicitado por la certificadora Naturalnd (2019), que “es de 40 %” (p. 40), aunque Zapata (2019) comenta que “porcentaje de sombra arriba del 40 % incide en la disminución de los rendimientos del café” (p. 695).

En los siete SAF bajo estudio se encontró un promedio de 62 % de sombra con un mínimo de 49 % y un máximo de 85 %. Por tanto se considera que el porcentaje de sombra se encuentra ligeramente por arriba del óptimo requerido.

5.2.6 Uso de especies arboreas presentes en SAF con café

El cuadro 4 exterioriza el uso que los productores destinan a los árboles presentes en su cafetal los cuales además de servir para sombra del cultivo son utilizados como combustible (leña), alimento, madera y medicinal.

Cuadro 4. Uso de especies arbóreas en los SAF con café, según los productores.

Fincas	Nombre técnico	Nombre común	Uso de especie
Las Miradas	Tabebuia rosea	Roble	Madera para la construcción
	Guazuma ulmifolia	Guásimo	Leña
	Cordia alliodora	Laurel	Madera para la Construcción
	Pouteria sapota	Zapote	Alimento
	Theobroma cacao	Cacao	Alimento
Divino Niño	Guazuma ulmifolia	Guásimo	Leña
	Tabebuia rosea	Roble	Madera para la construcción
	Enterolobium cyclocarpum	Guanacaste	Madera para la construcción
	Bombacopsis quinata	Pochote	Madera para la construcción
	Spathodea campanulata	Llamarada del bòsque	Ornamento
	Pouteria sapota	Zapote	Alimento

El Chilamate	Cedrela alliodora L.	Cedro	Madera para la construcción
	Bactris gasipaes	Pijibay	Alimento
	Citrus reticulado	Mandarina	Alimento
La Herradura	Gliricida sepium	Madero Negro	Poste
	Morinda citrifolia	Noni	Medicina
	Mangifera indica	Mango	Alimento
	Citrus limetta	Limon dulce	Alimento
Cielo Azul	Cordia alliodora	Laurel	Madera para la Construcción
	Elytraria Imbricata	Cacahuillo	Leña, poste para las cercas
	Ficus trigonata	Chilamate	Prenderiso
	Guazuma ulmifolia	Guásimo	Leña
San Antonio	Elytraria Imbricata	Cacahuillo	Leña, poste para las cercas
	Ficus trigonata	Chilamate	Prenderiso
	Persea americana	Aguacate	Alimento
	Bactris gasipaes	Pijibay	Alimento
	Citrus paradisi	Grayfu	Alimento
	Inga spp	Guaba	Alimento
El Progreso	Cordia alliodora	Laurel	Madera para la Construcción
	Enterolobium cyclocarpum	Guanacaste	Madera para la construcción
	Tabebuia rosea	Roble	Madera para la construcción
	Guazuma ulmifolia	Guásimo	Leña
	Citrus limon	Limon	Alimento
	Citrus sinensis	Naranja dulce	Alimento
	Citrus paradisi	Grayfu	Alimento
	Inga spp	Guaba	Alimento

5.3 Carbono almacenado en SAF con café

5.3.1 Carbono almacenado en el suelo en SAF con café

La figura 9 indica que el SAF con mayor aporte de carbono por parte del suelo fue la finca Las Miradas con $113.70 \text{ t C ha}^{-1}$, seguido de forma descendente por la finca El Progreso con 98.72 , El Chilamate con 95.94 , Cielo Azul con 74.15 , San Antonio con 70.89 , Divino Niño con 63.43 y finca La Herradura con $52.72 \text{ t C ha}^{-1}$ correspondientemente.

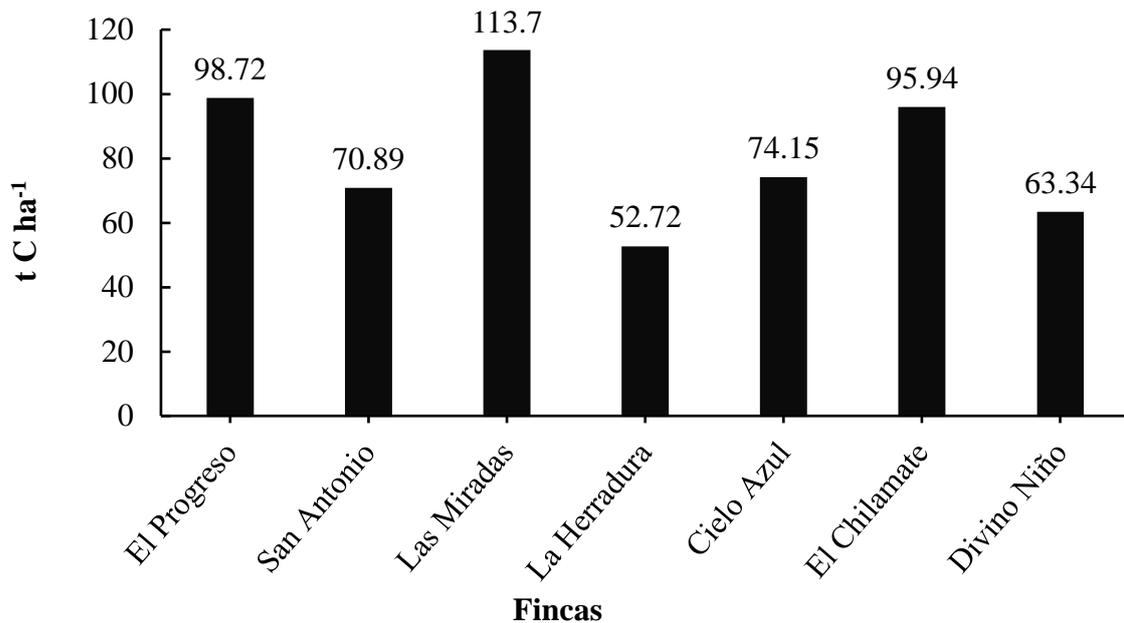


Figura 9. Carbono almacenado en el suelo en SAF con café (t ha⁻¹ C)

Ortega (2020), encontró en su estudio “volúmenes de carbono almacenado en suelo en sistemas agroforestales con café de 80.86 t C ha⁻¹” (p. 44). Sánchez Tórréz (2016), argumenta que “el carbono en suelo está altamente relacionado con el porcentaje de sombra y la abundancia de árboles” (p. 57), mientras que Larios y Salmerón (2014), afirman que “las prácticas agroecológicas en las plantaciones con café proporcionan un suelo con menor densidad aparente” (p. 67). Por su parte Medina y Ruíz (2008), sostienen “haber encontrado más concentración de carbono en suelos de cafetales de mayor edad a una profundidad de 20 cm del suelo en un rango de 74.24 a 56.75 t C ha⁻¹” (p. 37).

Por su parte Alvarado y Andrade (2013), “encontraron 72.3 y 33.6 t C ha⁻¹” (p. 25), mientras que Connolly y Corea (2007), “encontraron en el suelo cantidades de 142.78 t C ha⁻¹ a una profundidad de muestreo de 30 cm planteando que, la profundidad del muestreo puede incidir en los resultados” (p. 89). Las referencias utilizadas demuestran que las cantidades de carbono almacenado en el suelo es variado y ello depende de varios factores.

Los resultados de carbono almacenado por el suelo en el presente estudio son mayores a los encontrados por Medina y Ruíz (2008, p. 37), y menores a los obtenidos por Connolly y Corea (2007). Además, se considera que éstos resultados son producto de lo que argumenta

Sánchez y Torrez (2016, p. 57), quienes afirman que el carbono del suelo está altamente relacionado con el porcentaje de sombra, abundancia arbórea y la profundidad del muestreo.

En los siete SAF bajo estudio se determinó un promedio de carbono almacenado en suelo de 81.36 t C ha⁻¹ con un máximo de 113.70 y un mínimo de 52.72, estos resultados tienen una alta correlación positiva con la materia orgánica y menor con la densidad aparente del suelo, además presenta una correlación negativa fuerte con la pendiente del terreno y de forma indirecta con el tipo de especies y densidad arbórea.

5.3.2 Carbono almacenado por árboles en SAF con café

La figura 10 indica que el SAF con mayor aporte de carbono por los árboles fue la finca Cielo Azul con 24.95 t C ha⁻¹, seguido de forma descendente por la finca Divino Niño con 15.39, San Antonio con 12.70, El Progreso con 8.94, Las Miradas con 5.64, la finca El Chilamate con 2.12 y la finca La Herradura con 1.98 t C ha⁻¹ respectivamente.

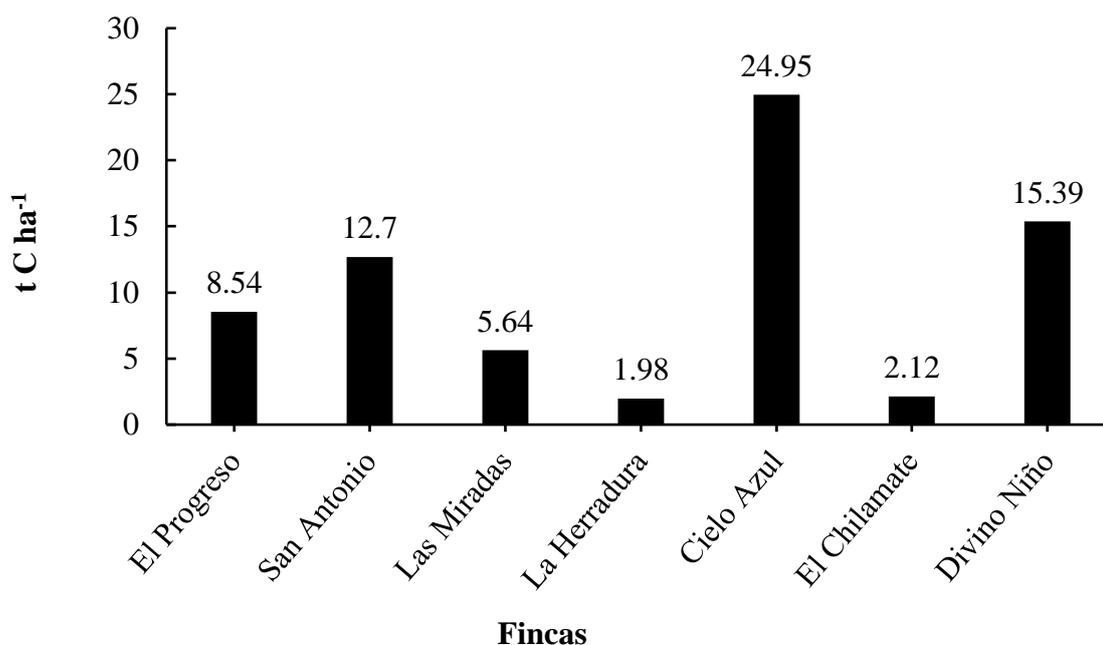


Figura 10. Carbono almacenado por árboles en SAF con café (t C ha⁻¹)

Ortega (2020), reporta “volúmenes de carbono almacenado en árboles utilizados para sombra de 15.85 t C ha⁻¹” (p. 40), similar a lo encontrado por Connolly y Corea (2007), quienes afirman “haber encontrado aportes de carbono almacenado por árboles de sombra en SAF con café de 15.82 t C ha⁻¹ afirmando que el diámetro de los árboles está relacionado directamente con este cálculo” (p. 50). Coincidiendo este argumento con Jurado, Ordoñez y Delgado (s.f.), quienes obtuvieron “8.86 t C ha⁻¹” (p. 8). Mientras que Umazor (2016), afirma que obtuvo “20.17 t C ha⁻¹ quien, además asevera que la densidad de árboles por hectárea es un elemento para considerar” (p. 30).

Por su parte Zapata (2019), confirma que “encontró densidades de árboles de 292 a 121 árboles por hectárea” (p. 691). Mientras que Ortiz y Guerrero (2006), encontraron “densidades de 200 y 400 árboles por hectárea respectivamente” (p. 27).

Los resultados de carbono almacenado por los árboles utilizados para sombra en las fincas en estudio son menores a los encontrados por Connolly y Corea (2007, p. 50), aunque similares a los volúmenes encontrados por Jurado, Ordoñez y Delgado (s.f., p. 8) y se coincide con el argumento de Umazor (2016, p. 30) en que la densidad de árboles por hectárea es un elemento para considerar.

En los siete SAF bajo estudio se encontró un promedio de carbono almacenado por árboles de 10.18 t C ha⁻¹, con un máximo de 24.95 y un mínimo de 1.98 t C ha⁻¹, resultados que son atribuidos directamente al diámetro de los árboles, además la densidad arbórea es un factor para considerar en esta variable. La altura de los árboles no se tomó en cuenta debido a que los productores realizan podas de mantenimiento anualmente lo que afecta la validez de la variable altura con respecto al carbono almacenado.

5.3.3 Carbono almacenado por mantillo en SAF con café

La figura 11 indica que el SAF con mayor aporte de carbono por parte del mantillo fue la finca El Progreso con 1.73 t C ha⁻¹, seguido de forma descendente por las fincas Cielo Azul con 1.41, Divino Niño con 1.31, San Antonio con 1.21, La Herradura con 1.12, Las Miradas con 1.08 y la finca El Chilamate con 0.92 t C ha⁻¹ respectivamente.

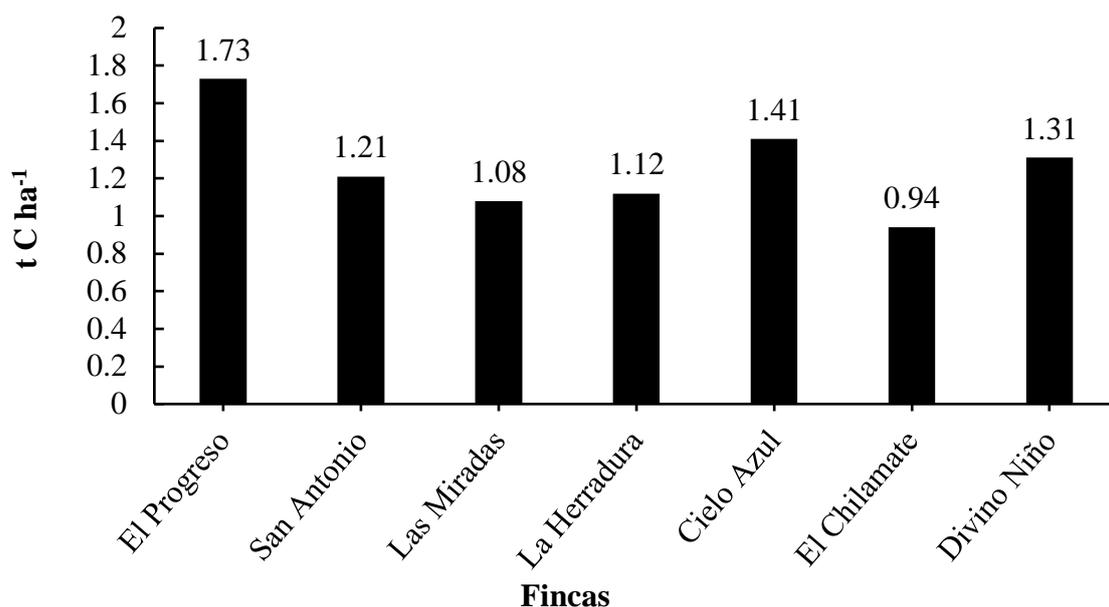


Figura 11. Carbono almacenado por mantillo en SAF con café (t C ha⁻¹)

Sánchez Tórriz (2016), afirma que “encontró 3.7 t C ha⁻¹ en la hojarasca argumentando que la variable tiene correlación con el porcentaje de sombra” (p. 62). Por su parte Medina, Pérez y Ruíz (2008) reportaron “1.7 t C ha⁻¹ en mantillo, la mayoría aportado por los árboles afirmando que la densidad, edad, especies de árboles y arbustos de café sumado al manejo del productor inciden en los resultados” (p. 36). Mientras Ortega (2020), encontró en su estudio “volúmenes de carbono almacenado por parte del mantillo de 6.21 t C ha⁻¹” (p. 44).

Calixto, L. (2014), “encontraron volúmenes de 1.56 t C ha⁻¹” argumentando que algunos agricultores optan por retirar las hojas podadas de la plantación lo que podría incidir en los resultados” (p. 9). Por su parte Connolly y Corea (2007), afirman haber “encontrado en café ecoforestal 0.76 t C ha⁻¹ en el mantillo” (p. 50). Rodríguez y Alvarado (2009), afirman que “las Rutaceas tienen un bajo aporte de hoja al suelo” (p. 9), lo que es sustentado por Ramírez (s.f.), quien afirma que “las hojas permanecen hasta por dos años en la planta antes de ser cambiadas” (p. 29).

El resultado de carbono almacenado por mantillo en este estudio es menor a los reportados por Sánchez Tórriz (2016, p. 62), Medina, Pérez y Ruíz (2008, p. 36), pero similar a los resultados que expresa Calixto y Kheffinir (2014, p. 9). De igual manera se coincide con los

argumentos planteados por estos autores con respecto al carbono almacenado por mantillo en los sistemas agroforestales con café.

En los siete SAF bajo estudio se determinó un promedio de carbono almacenado por mantillo de 1.25 t C ha^{-1} con un máximo de 1.73 y un mínimo de 0.92 , resultado de las especies de árboles utilizados para sombra donde *Cordia alliodora* predomina en los SAF con mayores volúmenes, mientras que en el SAF con menor volumen predominaron los cítricos *Citrus sinensis*, *Citrus limon* y *Citrus paradisi*, en segundo término se considera que la densidad de árboles por hectárea es otro elemento a considerar en los volúmenes de carbono almacenado en el mantillo y finalmente el manejo que el productor aplica a su sistema productivo.

5.3.4 Carbono almacenado por arbustos de café en SAF con café

La figura 12 indica que el SAF con mayor aporte de carbono por arbustos de café fue la finca La Herradura con 2.81 t C ha^{-1} , seguido de forma descendente por las fincas El Progreso con 2.24 , El Chilamate con 2.06 , Cielo Azul 1.56 , San Antonio con 1.12 , Las Miradas con 1.08 y la finca Divino Niño con 0.92 t C ha^{-1} respectivamente.

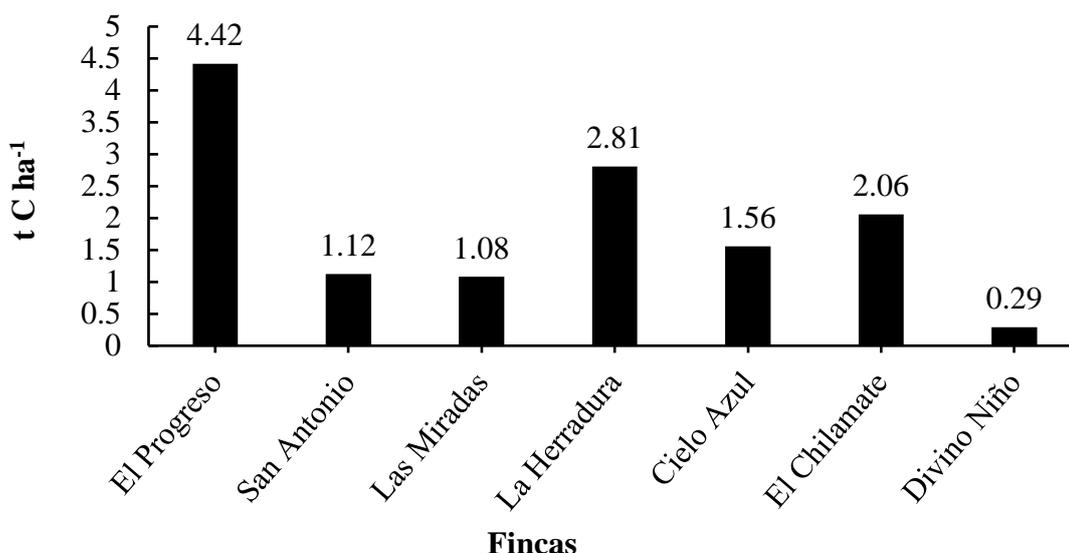


Figura 12. Carbono almacenado por arbustos en SAF con café (t C ha^{-1})

Calixto y Kheffinir (2014), afirman que “encontraron volúmenes de carbono almacenado en los arbustos de café de 8 años con 2.15 t C ha^{-1} y plantaciones de 4 años con 1.43 t C ha^{-1}

argumentando que la altura y el diámetro incidieron en estos resultados” (p. 42). Por su parte Ortega (2020), encontró en su estudio “volúmenes de carbono almacenado en arbustos de 1.22 t C ha⁻¹” (p.44). Mientras que Pico (2011), “encontró aporte de carbono de 1.78 t C ha⁻¹” (p.46). Por su parte Connolly y Corea (2007), reportaron “volúmenes de 1.14 t C ha⁻¹ (p. 50). Abarca (2011), encontró aportes de carbono almacenado por arbustos de café de 0.8 t C ha⁻¹” (p. 50).

Los resultados obtenidos de carbono almacenado por los arbustos de café en el presente estudio son mayores a los reportados por Connolly y Corea (2007, p. 50), similares a los encontrados por Pico (2011, p. 46), de igual manera se coincide con el argumento de los autores Calixto y Kheffinir (2014, p. 42), que el diámetro, la edad y la altura inciden directamente en el carbono almacenado por los arbustos de café.

En los siete SAF bajo estudio se determinó un promedio de carbono almacenado por arbustos de café de 1.62 t C ha⁻¹ con un máximo de 2.81 y un mínimo de 0.29 t C ha⁻¹, estos resultados son atribuidos directamente al diámetro y la altura del café, seguido de la edad de los arbustos, se considera que la densidad no insidió en los resultados.

5.3.5 Carbono total almacenado en los sistemas agroforestales con café

El cuadro 5 indica que, el promedio de carbono almacenado de los siete SAF fué de 95.10 t C ha⁻¹ con un máximo de 124.40 y un mínimo de 58.63 t C ha⁻¹ respectivamente. La fuente que más carbono almacena en promedio en los sistemas agroforestales estudiados fué el suelo con 81.36, seguido en orden desce por los árboles utilizados para sombra del café 10.60, arbustos de café 1.88 y finalmente el mantillo con 1.26 t C ha⁻¹ respectivamente.

Cuadro 5. Carbono total almacenado en los sistemas agroforestales con café.

Fincas	suelo	Arboles	Mantillo	Arbustos de café	Total t C ha⁻¹
Las Miradas	113.7	8.54	1.08	1.08	124.40
Divino Niño	63.43	15.39	1.31	0.29	80.42
El Chilamate	95.94	2.12	0.94	2.06	101.06
La Herradura	52.72	1.98	1.12	2.81	58.63
Cielo Azul	74.15	24.95	1.41	1.56	102.07
San Antonio	70.89	12.7	1.21	1.12	85.92
El Progreso	98.72	8.54	1.73	4.24	113.23
Promedio	81.36	10.60	1.26	1.88	95.10

Basados en World Bank Group (2020) afirma que “el Fondo Monetario Internacional (FMI) calcula el precio promedio mundial de carbono en US\$2.00 por t CO₂” (p. 18 y 21). El mismo autor comenta que la relación entre carbono y oxígeno es 3.667, por lo tanto el promedio de carbono almacenado determinado en los siete SAF debe multiplicarse por 3.667 para convertirlo a dióxido de carbono lo que resulta en 348.73 t CO₂ ha⁻¹ lo que se multiplicó por US\$2.00, resultando un valor de US\$ 697.46 t C ha⁻¹ que podría percibir el productor por contribuir con su sistema productivo a la estabilidad del ecosistema.

5.3.6 Análisis de componentes principales para carbono almacenado en SAF con café

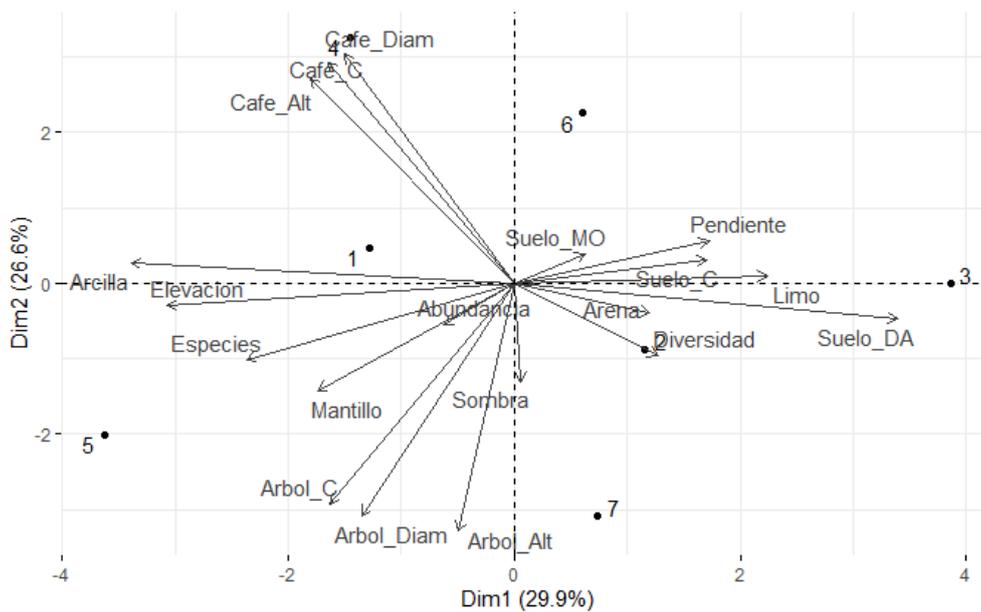
En la figura 13 se observa la relación entre las fincas y las variables representadas en un plano bidimensional el cual explica el 56.5 % de la información. La variable de interés es el carbono almacenado en suelo, árboles, arbustos de café y mantillo que junto con el resto de variables suman en total 19. La proximidad de cada una de las variables de interés con respecto a la fincas depende de la cantidad de carbono determinado en cada una de ellas.

Basados en la figura y la tabla de correlación de los datos, el carbono almacenado por arbustos de café está mas asociado con la finca cuatro, seis y uno, mientras que el carbono arbóreo se observa mas asociado con las fincas cinco, uno y siete, al igual que el carbono en mantillo. Mientras que el carbono del suelo esta mas relacionada con las fincas dos, tres y seis.

Se observa que carbono del suelo presenta una alta correlación positiva con la materia orgánica, la pendiente y en menor asociación con la densidad aparente del terreno (0.94, 0.87 y 0.54) y de forma inversa con la sombra en el cafetal, la arcilla en el suelo, altura de arbustos de café y carbono de árboles (- 0.50, - 0.31, - 0.31, - 0.26) respectivamente. El carbono de los árboles está altamente asociado de manera positiva con su diámetro y altura (0.99 y 0.91) y por el tipo de especie y mantillo (0.70 y 0.49), pero de forma inversa con el diámetro, carbono y altura de arbustos de café (- 0.50, -0.49 y - 0.35) respectivamente.

El carbono de los arbustos de café está correlacionado positivamente con su diámetro y altura además de la arcilla en el suelo y la elevación del terreno (0.94, 0.89, 0.56 y 0.35), pero de

forma inversa con la altura, diámetro y carbono de árboles (- 0.68, - 0.58 y - 0.49), además de densidad aparente del suelo, arena y sombra (- 0.57, - 0.40 y - 0.46). Finalmente, el carbono de mantillo presenta una correlación positiva con arcilla del suelo (0.56), altura y diámetro de árboles (0.53 cada uno), elevación del terreno y tipo de especie (0.52 y 0.33) y de forma inversa con arcilla, densidad aparente y pendiente del terreno (- 0.50, - 0.43 y - 0.24) respectivamente.



Nota. Dim = Dimensión, Arbol_Alt=Altura de árbol, Arbol_Diam= Diámetro de árbol, Café_Diam=Diámetro del café, Suelo:MO= Materia orgánica del suelo, Suelo_DA=Densidad aparente del suelo, Suelo_C= Carbono del suelo, Café_C= Carbono del café, Café_Alt= Altura del café, Mantillo=Carbono de mantilla, 1= Finca El Progreso, 2=Finca San Antonio, 3 =Finca Las Miradas, 4= Finca La Herradura, 5= Finca Cielo Azul, 6= Finca El Chilamate, 7=Finca Divino Niño

Figura 13. Análisis de componentes principales para carbono almacenado en SAF con café

Fernández, V. (s.f.), expresa que “componentes principales son variables correlacionadas, entre si las cuales pueden transformarse del conjunto de variables originales” (p. 1). Sánchez Tórrez (2016), afirma que “el carbono orgánico de suelo tiene relación con el porcentaje de sombra, abundancia de especies arbóreas, densidad aparente. Mientras que Medina y Ruíz (2008), expresa que “el carbono en el suelo se relaciona a la profundidad en que se realiza el muestreo” (p. 37)

Salinas y Hernández (2008), indican que “la captura de carbono arbórea está relacionada con el diámetro” (p. 56), mientras que García Jiménez (2018), “lo asocia con la edad” (p. 9), ambos elementos diámetro y edad también están relacionados. Por su parte Rojas (2018), afirma que “el carbono se relaciona con el crecimiento del árbol” (p. 9).

Sánchez Torres (2018), afirma que “el carbono en la hojarasca está relacionado con la sombra por el aporte de necromasa y con la diversidad de especies utilizadas para sombra” (p. 57). Mientras que Delgado (2018), afirma que “el carbono en la hojarasca se relaciona con la cantidad de árboles por hectárea” (p. 17). Así como Magaña (2010), quien asevera que “el carbono almacenado en la hojarasca se relaciona con el tipo de especies que se utilizan para la sombra del cafetal” (p. 78).

García Jiménez (2018), expresa que “el carbono almacenado en arbustos de café está relacionado con el diámetro y la altura” (p. 48), mientras que Orozco Vílchez (2016), comenta que “está relacionado con el manejo del café y de la sombra que realiza el productor” (p. 59), a su vez Vargas (2013), afirma que “está relacionado con la densidad poblacional” (p. 48).

Entre mayor sea la pendiente, materia orgánica y densidad aparente en el suelo, este tendrá más carbono almacenado por ello la ecuación de Andrade & Ibrahim retoma estas dos últimas variables, mientras que se observa una relación que a mayor carbono en árboles y arbustos de café menos carbono en el suelo posiblemente por las cantidades de nutrientes extraídas del suelo y por el microclima generado por la sombra que también se relaciona negativamente con los volúmenes de carbono en el suelo.

Parece ser que entre mayor altura y diámetro de árboles habrá más carbono en estos y en el mantillo, pero en este último también incide el tipo de especie arbórea, arcilla en el suelo y elevación del terreno aunque no hubo mucha diferencia de altitud entre las fincas. También se encontró relación positiva entre carbono almacenado en arbustos de café con su diámetro y altura y relación negativa con el porcentaje de sombra y dimensiones de árboles.

En el análisis de componentes principales basado en correlaciones respecto a carbono almacenado en el suelo, la materia orgánica es el principal factor y en menor medida la pendiente y densidad aparente. En caso de árboles utilizados para sombra y arbustos de café el diámetro y la altura son los factores más relacionados, al igual que para mantillo.

VI. CONCLUSIONES

Basados en los resultados obtenidos en la presente investigación se puede concluir lo siguiente:

Se trabajó con pequeños productores de café con áreas de 0.35 a 2.45 ha cuyos cafetales representaron entre el 20 al 100 % del área total de la finca, con ocho a dos personas por familia del productor, el 100 % de productores utilizan la variedad catimor en altitudes de 602 a 758 m en suelos arcillosos de pH medianamente ácido de 5.63 a 6.18 y altos valores de materia orgánica de 4.17 a 7.58 % y pendientes del suelo de 22 a un 35 %.

Se identificaron un total de 85 individuos arbóreos distribuidos en 16 familias con una riqueza de 22 especies predominando *Cordia alliodora* con una abundancia de 17 individuos, *Guazuma ulmifolia* con abundancia de 11 y *Citrus sinensis* con abundancia de nueve, se identificó un bajo índice de diversidad con Shannon Wiener de entre 1.15 a 1.93 y un porcentaje de sombra de entre 49 a 85 %.

El índice de similitud de Bray - Curtis identificó tres grupos, el de mayor similitud formado por la finca San Antonio y El Progreso compartiendo cinco de las 22 especies, seguido por el segundo grupo formado las fincas Cielo Azul, Las Miradas y Divino Niño compartiendo de una a cuatro especies y el tercer grupo formado por las fincas El Chilamate y La Herradura comapartiendo una especie.

El suelo fue el componente que más carbono almacena en promedio con 81.35 t ha⁻¹ C, seguido por árboles 10.18, arbustos de café 1.90 y mantillo con 1.25 t ha⁻¹ C; se determinó que por finca se almacena en promedio 95.10 t ha⁻¹ C, con un máximo y un mínimo de entre 124.4 a 58.63 t ha⁻¹ C respectivamente.

Las correlaciones indicaron que los valores de carbono de suelo se relacionaron positivamente con la materia orgánica los árboles con su diámetro, altura y especie; los

arbustos de café con su diámetro y altura y el mantillo con el tipo de especies y dimensiones de los árboles utilizados para sombra.

El análisis de componentes principales mostró relación positiva entre el suelo y la materia orgánica; los árboles y arbustos de café con sus diámetros y alturas y el mantillo con las dimensiones de los árboles.

VII. RECOMENDACIONES

A los productores implementar un plan de manejo forestal que les permita un mejor aprovechamiento del recurso árbol, tanto para sombra del café, como con fines alimenticios y maderable, que les permita aumentar las cantidades de carbono en el sistema productivo con miras a generar proyectos de pagos por servicios ambientales.

A futuros investigadores en sistemas agroforestales utilizar la misma cantidad de parcelas por unidad productiva para facilitar los análisis.

VII. LITERATURA CITADA

- Andrade, Hernán, J. & Ibrahim, Muhammad. (2003) Cómo monitorear el secuestro de carbono en sistemas silvopastoriles. Agroforestería de las Américas. Vol. 10 (N° 39-40). <http://www.fao.org/tempref/docrep/nonfao/lead/x6378s/x6378s00.pdf>
- Calixto, L. (2014). Carbono almacenado en la biomasa aérea por gradiente altitudinal en plantaciones de café (*Coffea arabica*) en el distrito de Hermilio Valdizan. Universidad nacional agraria de la selva facultad de recursos naturales renovables
- Carrera, C. (2012). Proceso metodológico para el desarrollo de los modelos alométricas para especies, grupo de especies estratos de bosques del Ecuador. Métodos de estimación de biomasa forestal
- Castro, (s.f). Almacenamiento de carbono y analisis de rentabilidad en sistema agroforestales con café en la zona de Santo Tomas, Costa Rica
- CATIE. (2009). Como podemos mejorar la finca cafetaleras en la cuenca. CATIE. Managua
- Chacón, (2020). Diseño de un sistema agroforestal en fincas ecológicas de café para la conectividad de dos áreas protegidas en providencia de copey, Costa Rica
- Colina. y López, C. (s.f.) El análisis de componentes principales aplicando análisis de datos secundarios. Universidad Autónoma de Barcelona
- Delgado (s.f.), (Evaluación de captura de carbono en sistema productivo de café (*coffea arabica* L.) consaca, Nariño – Colombia
- Díaz, C. (2016). Revista internacional 55de desarrollo regional sustentable Vol. 1 (número) 57-67
- Díaz, T. (2019),. Evaluación agroecológica de dos agroecosistemas con cacao (*Theobroma cacao* L.) en Siuna (tesis de grado). Universidad Nacional Agraria. Nicaragua
- Espinosa, (2016), Composición florística en cuatro sistemas agroforestales y dos bosques secundarios ubicados al sur de la provincia de Manabí, Ecuador
- Estrada, A. (2013). Diagnóstico de la biodiversidad de los macroinvertebrado en cuatro sistemas lácticos de zamorano. Escuela agrícola panamericana, zamorano
- Fernández, G. (2018) Propuesta de un diseño agroforestal con café (*cafffea arabica*, Linn) y manejo orgánico en la región de Monteverde, Costa Rica

- Fernández, V. (s.f.). Los cafetales bajo sombra brindan mucho más café
<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://www.inecol>
- Fonseca, G. (2017). Revisión de métodos para el monitoreo de bioma y carbono vegetal en ecosistema forestales tropicales. *Revista de ciencias ambientales Volumen 51 (2) :91*
- FUNICA, (2009). Fundacion para el desarrollo tecnológico agropecuario y forestal de Nicaragua
- Gómez, F. (2013). Estimación del carbono almacenado en la biomasa del bosque de las comunidades nativas de callera, flor de Ucayali, buenos aires, roya, curiara, pueblo nuevo del coco y puerto nuevo en la Región de Ucayali – Perú
- González, V. (2014). Tipos de muestreo. Diplomado en el análisis de la información Geoespacial. M México. CONACYT
- Grupo intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, (2020), IPCC, (2020)
- Hernández, (2011), Captura de carbono orgánico en sistema agroforestales. Valoración Comparativa de la Captura de Carbono Orgánico en Sistemas Agroforestales (Café Madera) y su Relación con la Rentabilidad Productiva del Cultivo en dos Municipios del Departamento de Santander. Universidad Santo Tomás
- Herrera, M. (2012). Estudio florístico del estado actual del bosque ripario en la microcuenca el Coyote, Condega, Estelí. Comparación de la resiliencia de cuatro sistemas de producción de Café (*Coffea arabica L.*), Dipilto, Nueva Segovia, 2018-2019. Universidad Nacional Agraria. Nicaragua
- Hurtado, C . (2017). Estimacion de carbono almacenado en bosques natural en la cuenca media bajo. Municipio de rio Quinto Choco, Colombia
- ICAFFE, (2011). Intituto del café de Costa Rica .Guia tecnica para el cultivo del café. 1 a ed. Heredia Costa Rica.
- INIA, (2015). En suelo agrícola un ser vivo. Narraciones de la ciencia
- IPCC, (2020). Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. El cambio climático y la tierra
- Landero, C. (2008). Patrones de asociación de especies y sustentabilidad
- Larrea, p. (2016). Efecto de la altitud en el contenido de carbono orgánico en el suelo y hojarasca de la reserva biológica. Escuela agrícola panamericana zamorano, Hondura

- Medrano, K. (2017). Establecimiento de plantaciones forestales para la protección de la parte baja de la sub cuenca del rio viejo en la planta hidroeléctrica calos Fonseca, Ciudad Darío, Matagalpa (tesis de grado). Universidad Nacional Agraria, Nicaragua
- Melgarejo, C. corro, V Carmen, M. Jean, M. (2015). Inventario nacional forestal y de carbono. Manual de campo, hojarasca y suelo. Panamá
- Mena M. (s.f.). Manual práctico de Agroforestería. Forestaría análoga
- Mendieta, R. (2007). Sistemas agroforestales. Universidad Nacional Agraria. UNA
- Ministerio Agropecuario y Forestal MAGFOR, (2013). Instituto nicaragüense de tecnología agropecuaria. (2020). INTA
- MOCCA, (s. f). Maximizando oportunidades en café y cacao en las Americas. Un cafetal productivo tiene sombra que lo cuide
- MWH Ltda. (2016). Estudio de impacto ambiental proyecto minero quebrada blanca
- Naturland (mayo 2019). Normas de Naturland. Producción. [https://www.naturland.de/images/SP/Naturland-SP/Normas/Naturland-Normas agricultura organica.pdf](https://www.naturland.de/images/SP/Naturland-SP/Normas/Naturland-Normas_agricultura_organica.pdf). p. 54
- Ortega, E. (2020). Caracterización del estado agroecológico de cuatro sistemas agroforestales con café bajo manejo orgánico en el departamento de Boaco, 2011 (tesis de grado) Universidad Nacional Agraria. Nicaragua
- Pérez S. (2011), Evaluacion del efecto de sombra en la producción de café -caffea arabica L. dentro en de un sistema agroforestal tradicional con arboles en Las Minas, El Paraiso, Honduras
- Ramírez, (s.f). Cultivos y explotacion de citricos. Grupo Editores Latino
- Rojo, J. (s.f). Café I (G. Coffea). Máster en Biología vegetal aplicada por la Complutense de Madrid Departamento Biología Vegetal I (Fisiología Vegetal) Facultad de Biología, Universidad Complutense. c/ José Antonio Nováis 12.
- Rubio J. (2010). Densidad Parente en los suelos forestales del parque natural los alcornocales. Sevilla
- Rügnitz, Chacón, y Porro. (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales (1.ed.). Lima Perú, (ICRAF)
- Sampieri, R. (2014). Metodología de la investigación, (6da). México

- Sánchez, T. (2016) Evaluación del contenido de carbono almacenado en diferentes usos del suelo en las micro cuencas Tecomapa, Somotillo y Río Pire, Condega, Nicaragua 2013-2014
- Sarmiento, J. (2021). Maestría en conservación de recursos forestales diversidad arbórea de sistemas agroforestales en fincas de café cuenca indoche y tonchima sorito, Moyobamba, Perú
- Suárez, D. Segura, M.. (2004). Estimación de la biomasa aérea total en árboles de sombra y plantas de café en sistemas agroforestales en Matagalpa, Nicaragua, usando modelos alométricas. *Agroforestería de las Américas. N° 41 – 42*
- Suárez. V. (2019), Informe final de prácticas pre profesionales. Diversidad de especies arbóreas y arbustivas como indicador de calidad ambiental en sistemas agroforestales del distrito de nueva cajarma-region san Martín
- Torres, V. (2016). Dinámica del carbono orgánico en suelos de sistemas agroforestales cafeteros en tibacuy, Cundinamarca
- Van Koni Jnenburg, A. (2006). Agricultura orgánica del suelo, sus componentes físicos. Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior del Rio Negro Convenio Pcia. de Rio Negro - INTA
- Villanueva, Morales y Suarez (s.f). Los arboles son generadores de vida. Bienes y servicios Ambiental. Mexico Distrito Federal
- Word Bank Group. (2020). Estado y tendencias de los precios del carbono 2020 Washington, DC. Recuperado <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/33809> Licencia: CC BY 3.0 IGO pdf
- Zapata, (2019). Composición y estructura del dosel de sombra en sistemas agroforestales con café de tres municipios de Cundinamarca, Colombia. *Ciencia forestal Vol. (29) 2. P. 685-6*
- Zapotillo, J. (s.f). Analisis de componentes principales

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Cronograma de actividades para la estimación de carbono almacenado en SAF con café en la comarca Loma de Cafen, Boaco, 2021

Actividades	Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto			
	1	2	3	4	2	3	4	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Semana	1	2	3	4	2	3	4	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Selección del área de estudio		x																						
Elaboración del protocolo		x	x	x	x	x																		
Inscripción del protocolo								x																
Aplicación de encuesta											x													
Establecimiento de las parcelas de muestreo											x													
Levantado de muestra de suelo											x													
Retiro de resultados de las muestras de suelo												x												
Envío de muestra de suelo a laboratorio UNA											x													
Levantado de muestra de mantillo											x													
Secado mantillo UNA Camoapa											x	x												
Recolección de datos (árboles, café)													x	x	x									
Análisis de datos																	x	x	x	x	x			
Informe final																						x	x	x
Predefensa																								
Defensa del trabajo de investigación																								x

Anexo 2. Presupuesto para la estimación de carbono almacenado en sistemas agroforestales con café en la comarca Loma de Cafen, Boaco, 2021.

Descripción	U. M.	Cantidad	P. U. C\$	P. t. C\$
Logística				
Transporte	Viatico	2	300	600
Alimentación	Viatico	2	400	400
Pago de laboratorio	Unidad	7	460	3 220
Transporte envío de muestras a laboratorio	Unidad	2	200	400
Material y Equipo				
Cinta métrica	Unidad	1	400	400
Mecate (cabulla)	Unidad	4	20	80
Pala	Unidad	1	250	250
Sacos	Unidad	4	15	60
Valsas	Unidad	7	25	175
Machete	Unidad	1	160	160
Lápiz	Unidad	2	30	60
Cuaderno	Unidad	1	30	60
Fotocopia	Unidad	6	20	120
Total				4 865

Anexo 3. Listado de productores y definición de muestra por sorteo de los sistemas agroforestales con café en la comarca Loma de Cafen, Boaco, 2021.

N°	Nombres y apellidos	Sexo	Área del SAF (ha)	Muestra
1	Alfonso Pérez Mendoza	M	2.10	
2	José Demetrio Hernández z	M	1.05	
3	Isabel Urbina Navarro	M	0.70	Nivel 1
4	Derlin Urbina Suazo	M	2.10	
5	José Manuel quintanilla	M	0.35	
6	José Domingo González	M	2.10	
7	María Isaura López	F	3.50	
8	Carlos Lenin Blanco G	M	4.90	Nivel 3
9	Miguel García Espinoza	M	1.75	
10	María Gaitán Amador	F	0.35	Nivel 1
11	Zeneyda García Amador	F	0.35	Nivel 1
12	Jairo Hernández Blanco	M	1.75	Nivel 2
13	Leonso Amador Hernández	M	0.7	
14	Norlan Amador Lira	M	0.18	
15	Bayardo M. García Amador	M	1.40	
16	Jader Rodríguez García	M	2.10	
17	Reynaldo García Blanco	M	1.75	Nivel 2
18	Juan Miguel García	M	0.70	
19	Félix zamoran	M	2.80	Nivel 2
20	Oscar Pérez	M	0.70	
	Total hectáreas		31.33	
Definición de la muestra por sorteo				
N°	Nivel por área (ha)	N° de SAF	SAF por nivel	Muestra/sorteo
1	0 a 1	8	3,5,10,11,13,14,18,20	10, 3, 11
2	1.1 a 3	10	1,2,4,6,9,12,15,16,17,19	12, 19, 17
3	Más de 3	2	7, 8	8

Anexo 4. Diagnostico del estado productivo del cafetal

Para este muestreo se contará con un área de 5 x 5 m² dentro de la parcela de muestreo de 10 x 10 m. Según Monzon y Herrera, (2013, p. 1) modificado de Sanchez, Ramírez V., INMECAFE – Mexico; los índices o categorías (tipo de planta) son los siguientes:

1. **Cafetos Normales:** Cafetos que pueden sostener su producción con los cuidados habituales. Estos son cafetos jóvenes que lucen vigorosos, frondosos, bien nutridos, con abundantes crecimientos nuevos y productivos. Su producción es muy buena.

2. **Cafetos que requieren podas:** Cafetos que requieren poda de tejidos o podas sanitarias que limitan el potencial productivo del árbol. Estos pueden ser cafetos no muy jóvenes, con abundancia de ramas, poco vigorosos, con síntomas de desnutrición, síntomas de enfermedades o plantas muy altas. La producción es buena pero puede mejorarse con la poda.

3. **Cafetos que deben receparse:** Cafetos que cuentan con un sistema radicular y esqueleto vegetativo sano, pero para mejorar su producción deben recortarse o receparse. Son cafetos de 11 a 20 años (o más), con buena sanidad, esqueleto vegetativo amplio, su producción es regular y se puede mejorar mediante la recepa.

4. **Cafetos que deben renovarse:** Por su vejez o agotamiento producen tan poco que deben ser sustituidos por plantas nuevas. Pueden ser cafetos con más de 20 años de edad, con síntomas claros de desnutrición y daños causados por enfermedades principalmente de la raíz o del tronco. Su producción es mala.

5. **Cafetos en edad pre-productiva:** Plantas jóvenes que no han alcanzado edad reproductiva. Son cafetos en edad pre-productiva de buen crecimiento, sanos, vigorosos y bien manejados

6. **Fallas Físicas:** no hay planta (solo está el espacio) o la planta está muerta o próxima a morir, por lo que hace falta poner una planta nueva.

Hoja de Muestreo: _____

Técnico: _____

Fecha: _____

Lote: _____

Propietario: _____

Finca: _____

Variedad: _____

Edad: _____

Cantidad de Plantas: _____

Condición	Conteo	Cantidad % por finca
Plantas productivas* (cafetos normales)	21,098	3014
Plantas que requieren poda sanitaria* (Cafetos que requieren podas)	5600	800
Plantas que requieren recepo* (cafetos que deben receparse)		
Plantas que necesitan ser renovadas* (cafetos que deben renovarse)		
Plantas recién renovadas* (cafetos en edad preproductiva)	2000	285
Fallas físicas* (fallas físicas)	2800	400
Total Plantas efectivas en las siete fincas	31,498	4499

*Según CATIE, (2009, p. 46)

Anexo 5. Medición de altura y diámetro de arbustos de café en la parcela de muestreo de 5 x 5 m

Fecha: _____

Lote: _____

Propietario: _____

Finca: _____

Variedad: _____

Edad: _____

Cantidad de Plantas: _____

N° arbustos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Diámetro (cm)										
Altura (m)										

N° arbustos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Diámetro (cm)										
Altura (m)										

N° arbustos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Diámetro (cm)										
Altura (m)										

N° arbustos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Diámetro (cm)										
Altura (m)										

Anexo 6. Inventario de especies arbóreas con DAP \geq 10 cm en la parcela de muestreo de 10 x 10 m.

Fecha: _____

Finca: _____ Lote: _____ Propietario: _____

Variedad: _____ Edad: _____ Cantidad de Plantas: _____

Fincas	Nombre técnico	Nombre común	cantidad
Las Miradas	Tabebuia rosea	Roble	2
	Inga spp	Guaba	1
	Citrus sinensis	Naranja dulce	1
	Guazuma ulmifolia	Guásimo	2
	Cordia alliodora	Laurel	1
	Pouteria sapota	Zapote	1
	Theobroma cacao	Cacao	2
Divino Niño	Guazuma ulmifolia	Guásimo	1
	Tabebuia rosea	Roble	1
	Enterolobium cyclocarpum	Guanacaste	1
	Bombacopsis quinata	Pochote	1
	Spathodea campanulata	Llamarada del bosque	1
	Pouteria sapota	Zapote	1
El Chilamate	Cedrela alliodora L.	Cedro	1
	Citrus sinensis	Naranja dulce	4
	Bactris gasipaes	Pijibay	1
	Citrus reticulado	Mandarina	1
La Herradura	Gliricida sepium	Madero Negro	2
	Morinda citrifolia	Noni	1
	Citrus sinensis	Naranja dulce	1
	Mangifera indica	Mango	2
	Citrus limetta	Limon dulce	1
Cielo Azul	Cordia alliodora	Laurel	3
	Elytraria Imbricata	Cacahuillo	1
	Ficus trigonata	Chilamate	1
	Guazuma ulmifolia	Guásimo	1
	Inga spp	Guaba	1
San Antonio	Elytraria Imbricata	Cacahuillo	1
	Ficus trigonata	Chilamate	1
	Citrus sinensis	Naranja dulce	2
	Persea americana	Aguacate	1
	Bactris gasipaes	Pijibay	1
	Cordia alliodora	Laurel	1
	Citrus paradisi	Grayfu	1
	Inga spp	Guaba	3
	El Progreso	Cordia alliodora	Laurel
Enterolobium cyclocarpum		Guanacaste	1
Tabebuia rosea		Roble	1
Guazuma ulmifolia		Guásimo	6
Citrus limon		Limon	2
Citrus sinensis		Naranja dulce	5
Citrus paradisi		Grayfu	1
Inga spp		Guaba	3
Elytraria Imbricata		Cacahuillo	1

Anexo 7. Inventario de especies arbóreas con DAP \geq 10 cm

Fecha: _____

Finca: _____ Lote: _____ Propietario: _____

Variedad: _____ Edad: _____ Cantidad de Plantas: _____

N°	Nombre común	Altura (m)	Diámetro (cm)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

Anexo 8. Cuadro de correlación de indicadores para carbono almacenado

	Finca	Mantillo	Café_C	Suelo_C	Arbol_C	Suelo_DA	Suelo_MO	Arcilla	Limo	Arena	Arbol_Alt	Arbol_Diam	Cafe_Alt	Cafe_Diam	Pendiente	Elevacion	Sombra	Especies	Abundancia	Diversidad
Finca	1.00	-0.44	-0.36	-0.34	0.18	-0.05	-0.37	0.04	0.67	0.77	0.02	0.12	-0.25	-0.28	-0.41	0.28	0.65	0.00	-0.45	-0.56
Mantillo	-0.44	1.00	0.07	-0.01	0.49	-0.44	0.19	0.56	0.09	0.50	0.53	0.53	-0.13	-0.15	-0.24	0.53	-0.07	0.34	0.24	0.29
Café_C	-0.36	0.07	1.00	-0.02	-0.49	-0.57	0.18	0.57	0.19	0.41	-0.68	-0.55	0.89	0.95	0.00	0.36	-0.47	0.10	0.00	-0.31
Suelo_C	-0.34	-0.01	-0.02	1.00	-0.26	0.55	0.94	0.32	0.37	0.00	0.04	-0.18	-0.31	-0.16	0.88	-0.28	-0.50	0.00	-0.03	-0.11
Arbol_C	0.18	0.49	0.49	-0.26	1.00	-0.34	-0.14	0.38	0.27	0.12	0.91	0.99	-0.35	-0.50	-0.22	0.43	0.14	0.70	0.30	0.05
Suelo_DA	-0.05	-0.44	0.57	0.55	-0.34	1.00	0.25	0.94	0.66	0.28	0.01	-0.25	-0.62	-0.53	0.55	-0.86	0.09	-0.55	-0.05	0.29
Suelo_MO	-0.37	0.19	0.18	0.94	-0.14	0.25	1.00	0.01	0.19	0.22	0.09	-0.07	-0.15	-0.01	0.80	0.01	-0.58	0.24	0.03	-0.24
Arcilla	0.04	0.56	0.57	-0.32	0.38	-0.94	0.01	1.00	0.57	0.45	0.10	0.32	0.54	0.49	-0.35	0.88	-0.11	0.70	0.23	-0.41
Limo	0.67	-0.09	0.19	0.37	-0.27	0.66	0.19	0.57	1.00	0.48	0.02	-0.18	-0.15	-0.09	0.57	-0.85	-0.22	-0.27	0.55	0.54
Arena	0.77	-0.50	0.41	-0.07	-0.12	0.28	-0.22	0.45	0.48	1.00	-0.13	-0.14	-0.42	-0.42	-0.24	-0.01	0.36	-0.46	-0.84	-0.15
Arbol_Alt	0.02	0.53	0.68	0.04	0.91	0.01	0.09	0.10	0.02	0.13	1.00	0.96	-0.64	-0.73	0.02	0.17	0.12	0.53	0.32	0.23
Arbol_Diam	0.12	0.53	0.55	-0.18	0.99	-0.25	-0.07	0.32	0.12	0.14	0.96	1.00	-0.44	-0.57	-0.16	0.36	0.13	0.66	0.32	0.11

Cafe_Alt	-0.25	-0.13	0.89	-0.31	-0.35	-0.62	-0.15	0.54	0.15	0.42	-0.64	-0.44	1.00	0.97	-0.11	0.25	-0.39	0.19	0.16	-0.26
Cafe_Diam	-0.28	-0.15	0.95	-0.16	-0.50	-0.53	-0.01	0.49	0.09	0.42	-0.73	-0.57	0.97	1.00	-0.01	0.20	-0.38	0.11	0.14	-0.34
Pendiente	0.41	-0.24	0.00	0.88	-0.22	0.55	0.80	-0.35	0.57	0.24	0.02	-0.16	-0.11	-0.01	1.00	-0.49	-0.62	0.15	0.25	-0.09
Elevacion	0.28	0.53	0.36	-0.28	0.43	-0.86	0.01	0.88	0.85	0.01	0.17	0.36	0.25	0.20	-0.49	1.00	0.04	0.54	-0.19	-0.46
Sombra	0.65	-0.07	-0.47	-0.50	0.14	0.09	-0.58	-0.11	0.22	0.36	0.12	0.13	-0.39	-0.38	-0.62	0.04	1.00	-0.24	-0.01	-0.15
Especies	0.00	0.34	0.10	0.00	0.70	-0.55	0.24	0.70	0.27	0.46	0.53	0.66	0.19	0.11	0.15	0.54	-0.24	1.00	0.51	-0.43
Abundancia	0.45	0.24	0.00	-0.03	0.30	-0.05	0.03	0.23	0.55	0.84	0.32	0.32	0.16	0.14	0.25	-0.19	-0.01	0.51	1.00	0.04
Diversidad	0.56	0.29	-0.31	-0.11	0.05	0.29	-0.24	-0.41	0.54	0.15	0.23	0.11	-0.26	-0.34	-0.09	-0.46	-0.15	-0.43	0.04	1.00