



“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
Maestría en Agroecología y Desarrollo Sostenible

Trabajo de Tesis

**Caracterización del estado agroecológico de
cuatro sistemas agroforestales con café bajo
manejo orgánico en el departamento de
Boaco, 2011**

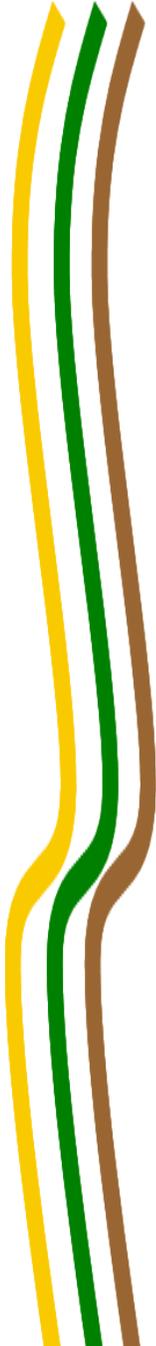
Autor

Ing. Edwin Freddy Ortega Tórrez

Asesores

**M.Sc. Rodolfo Munguía Hernández
Dr. Jorge Ulises Blandón Díaz**

**Managua, Nicaragua
Diciembre, 2020**





“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
Maestría en Agroecología y Desarrollo Sostenible

Trabajo de Tesis

**Caracterización del estado agroecológico de
cuatro sistemas agroforestales con café bajo
manejo orgánico en el departamento de
Boaco, 2011**

Autor

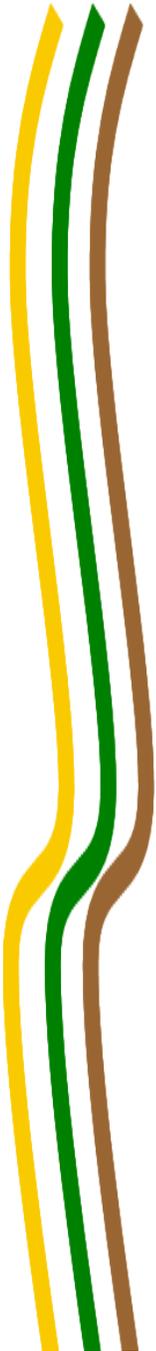
Ing. Edwin Freddy Ortega Tórrez

Asesores

M.Sc. Rodolfo Munguía Hernández
Dr. Jorge Ulises Blandón Díaz

Presentado a la consideración del honorable tribunal
examinador como requisito final para optar al grado
de Maestro en Ciencias

Managua, Nicaragua
Diciembre, 2020



Hoja de aprobación del Tribunal Examinador

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable Tribunal Examinador designado por el Decanato de la Facultad de Agronomía como requisito final para optar al título profesional de:

Maestro en Ciencias en Agroecología y Desarrollo Sostenible

Miembros del Tribunal Examinador

Presidente (Grado académico y nombre)

Secretario (Grado académico y nombre)

Vocal (Grado académico y nombre)

Lugar y Fecha: _____

INDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
INDICE DE CUADROS	iv
INDICE DE FIGURAS	v
INDICE DE ANEXOS	vi
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 Agroecología	4
3.2 Caracterización	6
3.3 Agroecosistemas	6
3.4 Diversidad	7
3.5 Biomasa	8
3.6 Términos forestales	9
3.7 Tipificación de productores de café	10
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	12
4.1. Ubicación del estudio	12
4.2 Descripción de las zonas de estudio	12
4.3 Diseño metodológico	14
4.3.1 Tipo de investigación	14
4.3.2 Fases del proceso metodológico	14
4.3.4 Descripción de Variables evaluadas	19
4.3.5 Definición de la muestra	31
4.3.6 Parcelas de muestreo	31
4.3.7 Recolección de datos	32
4.3.7 Análisis de datos	32

V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
5.1	Caracterización de los Sistemas Agroforestales con café	33
5.1.1	Zonas de baja altitud	33
5.1.2	Zona de altitud media	36
5.2	Contribución del reciclaje al sistema agroforestal con café	40
5.2.1	Carbono almacenado por los árboles en los SAF con café ($t\ ha^{-1}\ C$)	40
5.2.2	Carbono almacenado por arbustos de café en los SAF en estudio ($t\ ha^{-1}\ C$)	42
5.2.3	Carbono almacenado por el mantillo en los SAF en estudio ($t\ ha^{-1}\ C$)	44
5.2.4	Carbono almacenado por el suelo en los SAF en estudio ($t\ ha^{-1}\ C$)	47
5.2.5	Contribución total del reciclaje al SAF con café ($t\ ha^{-1}\ C$)	48
5.2.6	Aporte nutritivo de la Biomasa al suelo del SAF ($kg\ ha^{-1}$)	50
5.3	Diversidad	53
5.3.1	Diversidad arbórea utilizando el índice de Shannon – Wiener	53
5.3.2	Diversidad de artrópodos (m^{-2}) en el suelo a nivel de órdenes y Subfilum	55
5.3.3	Presencia de microorganismos en el suelo a nivel de género (hongos, bacterias y nemátodos)	58
5.3.4	Presencia de lombrices en el suelo (Número de lombrices por m^2)	62
5.4	Manejo de los sistemas agroforestales con café	65
5.4.1	Manejo del SAF con café, según el productor Juan Mora (JM)	65
5.4.2	Manejo del SAF con café, según el productor Elías Rivas Sequeira (ERS)	66
5.4.3	Manejo del SAF con café, según el productor Pascual Espinoza (PE)	67
5.4.4	Manejo del SAF con café, según el productor Remigio Espinoza (RE)	68
5.4.5	Biomasa almacenada en el suelo ($t\ ha^{-1}$)	70
5.4.6	Cobertura del suelo en el SAF con café (%)	72
5.4.7	Sombra de los SAF con café (%)	75
5.4.8	Diagnóstico fitosanitario del café (%)	77
5.4.9	Clasificación diamétrica de los árboles en los SAF con café en 0.25 ha	80
5.4.10	Clasificación de la población arbórea según su altura en metros	82
5.4.11	Contribución del manejo del SAF a los principios agroecológicos	85
VI.	CONCLUSIONES	87
VII.	RECOMENDACIONES	88
VIII.	LITERATURA CITADA	89
IX.	ANEXOS	100

DEDICATORIA

Estar en este momento redactando este escrito es el resultado del esfuerzo de toda una vida de dificultades por las que han atravesado mis padres Sr. **Eduardo Ortega Miranda**, mi madre Sra. **Eladia Tórrez Aragón** quienes, con sus consejos, regaños y una reprimenda de vez en cuando durante mi niñez y adolescencia tuvieron que ser necesarios para estar redactando esta dedicatoria

Mis hijos, quienes son para mí el mayor tesoro de mi vida, son los que hacen tolerable mi existencia porque, me brindan momentos especiales de alegría, enojo, tristeza y esperanza, en que puedan crecer sanamente, que sean personas de bien y pueda yo acompañarlos en los momentos más importantes de sus vidas.

No podría terminar esta dedicatoria sin mencionar a mis hermanos, quienes son los amigos que toda mi vida ha estado ahí aconsejándome, compartiendo inolvidables momentos en familia.

AGRADECIMIENTO

Con toda humildad y respeto quiero me permitan mencionar a personas y organizaciones que de forma directa e indirecta han suministrado su tiempo y experiencia en aconsejarme en el desarrollo de esta investigación

A la Cooperativa **TIERRA NUEVA**, por apoyar la ejecución de la investigación y haber facilitado al técnico y la coordinación con los productores propietarios de las unidades productivas estudiadas.

Al Ingeniero **Ramiro César Espinoza**, técnico de la Cooperativa TIERRA NUEVA, un amigo, quien compartió su experiencia y conocimientos de las comunidades y de las personas en donde se realizó el estudio. También agradecer al grupo de cuarto año de la Carrera de Ingeniería Agronómica de la Sede Regional Camoapa del año 2011, por su apoyo.

A los productores, señor **Juan Mora** quien con su alegría y dinamismo compartimos de buena comunicación. Al señor **Elías Rivas Sequeira**, quien con su humildad y sinceridad compartió su experiencia de muchos años en el manejo del café y en incesante amor al cuidado de la tierra a través de la reforestación. Al señor **Pascual Espinoza** Quien con alegría nos recibió en su unidad productiva y el señor **Remigio Espinoza** quien con compartió sus conocimientos y aprendizajes con nosotros.

A las autoridades de la Universidad Nacional Agraria Sede Regional Camoapa, Ing. MSc. **Luis G. Hernández Malueños** por darme su respaldo a cursar esta maestría. Al Ing. MSc. **Kelvin Jhon Cerda Cerda** por quitarle varias horas de su tiempo ayudándome en revisión de este trabajo. También agradezco a Ing. MSc. **Luis Alberto Hernández** Director de LABSA por sus explicaciones en la interpretación de los análisis de suelo

A mis asesores:

Ing. MSc. Rodolfo Munguía Hernández, quien verdaderamente me tuvo paciencia, siempre me ha tratado con amabilidad y al mismo tiempo aconsejándome terminar esta investigación. Me acompañó durante todo el proceso de esta investigación, realizando aportes importantes basados en su experiencia en la temática.

PhD. Jorge Ulises Blandón Díaz a quien considero una persona responsable en su quehacer profesional, con quien uno puede comunicarse agradablemente, a él le doy gracias por su apoyo.

Estoy agradecido de haberlos conocido, pues han sido excelentes mentores.

PD: Aunque como leerán hay muchos Espinoza y Hernández en este agradecimiento, si son familia, no lo sé. ¡Ese será otro tema de investigación!!!

INDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1.	Operativización de variables de cuatro sistemas agroforestales con café bajo manejo orgánico	18
2.	Resumen de características de los sistemas agroforestales con café	39
3.	Contribución total del reciclaje al sistema agroforestal con café (t ha ⁻¹ C)	49
4.	Aporte nutritivo de la Biomasa al suelo del SAF (kg ha ⁻¹)	50
5.	Diversidad arbórea utilizando el índice de Shannon – Wiener en SAF con café	53
6.	Presencia de microorganismos en el suelo a nivel de género (hongos, bacterias y nemátodos)	59
7.	Presencia de lombrices en el suelo (N° de lombrices por m ²)	62
8.	Resumen del manejo de los SAF según los productores	69
9.	Biomasa almacenada en el suelo de cuatro SAF con café (t ha ⁻¹)	70
10.	Diagnóstico fitosanitario del café en cuatro SAF (%)	77
11.	Contribución de prácticas de manejo a los principios agroecológicos en cuatro SAF con café bajo manejo orgánico	85

INDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1.	Ubicación del área de estudio de cuatro sistemas agroforestales con café bajo manejo orgánico	12
2.	Fases del proceso metodológico de cuatro sistemas agroforestales con café bajo manejo orgánico (enero – diciembre, 2011)	15
3.	Carbono almacenado por árboles en SAF con café ($t\ ha^{-1}\ C$)	40
4.	Carbono almacenado por arbustos de café en los SAF en estudio ($t\ ha^{-1}\ C$)	43
5.	Carbono almacenado por el mantillo en los SAF en estudio ($t\ ha^{-1}\ C$)	45
6.	Carbono almacenado por el suelo en los SAF en estudio ($t\ ha^{-1}\ C$)	47
7.	Diversidad de artrópodos presentes en el suelo a nivel de órdenes y subfilum en cuatro de SAF con café (m^2).	56
8.	Cobertura del suelo en el SAF con café utilizando la metodología “Punta de zapato” propuesta por (Guharay, 2000, p. 204).	73
9.	Sombra de cuatro sistemas agroforestales con café bajo manejo orgánico (%)	75
10.	Clasificación diamétrica de la población arbórea (según Sabogal, <i>et. al.</i> , 2 004, citado por Salazar, 2012, p. 48)	81
11	Clasificación de la población arbórea según su altura en metros (García, <i>et. al.</i> , 2010, citado por Pineda, 2012, p. 8)	83

INDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1.	Formato de entrevista aplicada al productor	100
2.	Pendiente, coordenadas y altitud de los Sistemas agroforestales con café coordinadas	109
3.	Carbono almacenado por los árboles en los SAF con café ($t\ ha^{-1}\ C$)	110
4.	Cálculo de carbono almacenado por plantas de café ($t\ ha^{-1}\ C$) a partir de Biomasa por planta	111
5.	Carbono almacenado por el mantillo ($t\ ha^{-1}\ C$)	111
6.	Peso seco del mantillo o Biomasa ($t\ ha^{-1}$)	112
7.	Carbono almacenado en el suelo ($t\ ha^{-1}\ C$)	112
8.	Aporte nutritivo de la biomasa al suelo del SAF ($Kg\ ha^{-1}$)	113
9.	Número de especies y abundancia arbórea en los SAF con café en estudio	113
10.	Hoja de salida del software “PAST”, con los parámetros arbóreos de índice de Shannon-W, taxa S, individuals y dominancia	115
11	Diversidad de Artrópodos en el suelo por metro cuadrado (m^2)	116
12	Presencia de microorganismos en el suelo a nivel de género (hongos, bacterias y nematodos)	118
13	Número de lombrices por m^2 en época lluviosa, ya que en época seca no se encontraron	118
14	Biomasa almacenada en el suelo ($t\ ha^{-1}$)	119
15	Cobertura del suelo en el SAF con café (%)	119
16	Sombra dentro del SAF con café (%)	119
17	Clasificación diamétrica (cm) y de altura (m) de árboles en los cuatro SAF bajo estudio	120
18	Equipos utilizados durante la fase de campo de la investigación	121

19	Análisis de suelo y su interpretación	122
20	Diagnóstico del estado productivo del café (%)	123
21	Momentos de obtención de la información	124
22	Contribución de las prácticas de manejo a los principios agroecológicos de los SAF con café	125
23	Contribución de prácticas de manejo a los principios agroecológicos de los SAF con café	132

RESUMEN

Para Nicaragua, el café es el principal rubro agrícola de exportación, emplea más de 300 000 personas, genera ingresos al país por más de 400 millones de dólares por año y representa aproximadamente el 18.2 % de las exportaciones totales de la nación. Para la caracterización del estado agroecológico de cuatro SAF con café en el departamento de Boaco, Nicaragua, se describió sus características, se calculó carbono almacenado, diversidad y se identificó con base en los principios agroecológicos el manejo que los productores realizan al SAF. La investigación fue no experimental de forma descriptiva bajo un proceso metodológico de tres fases: planificación, ejecución, análisis y presentación de resultados. La muestra se obtuvo por conveniencia utilizando criterios de selección como: productores líderes en su comunidad, productores abiertos a la comunicación, SAF en dos pisos altitudinales, aplicar las técnicas que comparte la cooperativa. La información se colectó utilizando un área única de muestreo llamada parcela temporal de 0.25 ha, ubicada en el centro del SAF. Se aplicó instrumentos de colecta de información a los productores y mediciones en campo. Los SAF presentaron áreas menores a 4.23 ha, suelos arcillosos con alto nivel de nitrógeno, potasio, pero pobres en fósforo y pendiente superior a 26.8 %; menos de 4 744 plantas por ha⁻¹ con edades de ocho a 30 años y bajo sombra mixta de entre 416 a 60 árboles por ha, la familia fue la mano de obra principal excepto durante la cosecha, poda y abonado contratando mano de obra externa. El suelo es quien más carbono almacenado aportó en promedio con 80.86, seguido por árboles 15.58, mantillo 6.24 y arbustos de café 1.22 t ha⁻¹ C. El SAF con el mayor aporte de carbono almacenado fue PE con 119.22 t ha⁻¹. Los cuatro SAF presentaron un índice de diversidad media del componente arbóreo con valores de 2.53 a 2.08 utilizando Shannon – Wiener, se identificaron 19 familias y 30 especies arbóreas, los SAF de altitud media fueron más diversos en órdenes y subfilum de artrópodos, géneros de microorganismos y densidad de lombrices. Los cuatro SAF presentaron alta gestión de manejo basados en la escala cualitativa, sin embargo, cuantitativamente los SAF de altitud media son los que más contribuyeron a los principios agroecológicos, específicamente en reciclaje, biodiversidad, manejo del suelo para su conservación y manejo ecológico de plagas y enfermedades.

Palabras clave: Reciclaje, Carbono almacenado, biodiversidad, agroecología.

ABSTRACT

For Nicaragua, coffee is the main agricultural export item, employing more than 300 000 people, generating income for the country of more than 400 million dollars per year and representing approximately 18.2 % of the nation's total exports. The characteristics of four agroforestry systems (SAF) with organic coffee in the department of Boaco were described, carbon stored within the system, diversity was calculated and the management that producers carry out to SAF was identified based on agroecological principles. The research was descriptively nonexperimental under a three-phase methodological process: planning, execution, analysis and presentation of results. The sample was obtained for convenience using selection criteria such as: leading producers in their community, producers open to communication, SAF in two altitudinal floors, applying the techniques shared by the cooperative. The information was collected using a single sampling area called a 0.25 ha temporary plot, located in the center of the SAF. Information collection instruments were applied to the producers and measurements in the field. The SAF had areas smaller than 4.23 ha, clay soils with a high level of nitrogen, potassium, but poor in phosphorus and a slope greater than 26.8 %; less than 4 744 plants per ha⁻¹ with ages of eight to 30 years and under mixed shade of between 416 to 60 trees per ha, the family was the main labor force except during harvesting, pruning and fertilizing by hiring external labor. The soils is the one that contributed the most carbon stored on average with 80.86 followed by trees 15.58, mulch 6.24 and coffee bushes 1.22 t ha⁻¹ C. The SAF with the highest contribution of stored carbon was PE with 119.22 t ha⁻¹. The four SAFs presented an index of average diversity of the arboreal component with values of 2.53 to 2.08 using Shannon – Wiener, 19 families and 30 tree species were identified, the medium altitude SAFs were more diverse in orders and sub – phyllums of arthropods, genera of microorganisms and earthworm density. The medium altitude SAFs are the ones that contributed the most to agroecological principles, specifically in recycling, biodiversity, soil management for its conservation and ecological management of pests and diseases.

Keywords: Recycling, Stored carbon, Biodiversity, Agroecology

I. INTRODUCCIÓN

Según el Centro de Trámites para las Exportaciones CETREX (2020), Nicaragua exportó en el ciclo agrícola 2019 un volumen de 169 948 319.8 kg de café oro por un monto cercano a los 460 173 128.6 de dólares valor FOB con un precio de 2.7 U\$ kg⁻¹ (p.1). Argüello y Olivero (2015) sostienen que el rubro del café aporta aproximadamente el 4 % del PIB nacional, 332 000 empleos entre directos e indirectos (p. 1 y 6).

Valkila (2009, p.2) indica que en Nicaragua hay 48 000 fincas productoras de café de las cuales un 80 % son microproductores con menos de 3.5 ha, quienes producen más del 85 % de la cosecha de café a nivel del país, además plantea que solamente el cuatro al cinco por ciento de las exportaciones de café de Nicaragua son certificados orgánicos, quienes obtienen unos rendimientos cercanos a 300 kg ha⁻¹. EL mismo autor sostiene que el café orgánico goza de un precio más estable que el convencional aprovechando mejor las bajas de precio, sin embargo, la diferencia no es tan halagadora debido a los bajos rendimientos que presenta comparado con el convencional (p. 7).

El café bajo sombra proporciona una oferta ambiental que tiene un impacto directo en la producción de agua, protección de biodiversidad, captura de carbono y manejo del paisaje focalizándose como servicios ambientales que tienen un valor de mercado y que están dejando de percibir los productores de café orgánico certificado bajo sombra. (OIC, 2013, p. 15).

Espinoza, (2011, p. 1 y 2) afirma que la Cooperativa Tierra Nueva localizada en el departamento de Boaco aglutina aproximadamente 674 productores de café con 853 ha, con rendimientos promedio de 590 kg ha⁻¹ y una producción estimada de 503.27 toneladas de café oro por año.

Fue el interés de los productores y de la Cooperativa Tierra Nueva determinar el estado agroecológico de los sistemas agroforestales con café (SAF) tomando en cuenta que eran

productores líderes dentro de la cooperativa; por lo tanto, se realizaron las coordinaciones necesarias para ejecutar el estudio.

Los beneficiarios del estudio fueron los productores al considerar otras formas que podrían utilizar para generar otros ingresos, la de cooperativa cuyos resultados le permiten valorar la realización del estudio a la mayoría de sus socios y perfilar la gestión de otros ingresos en concepto de pagos por servicios ambientales y el investigador que fortaleció su experiencia en agroecología y que ha puesto en práctica en la academia desde el 2011.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Caracterizar el estado agroecológico de cuatro sistemas agroforestales con café bajo manejo orgánico en fincas de productores de la Cooperativa Tierra Nueva, Departamento de Boaco, 2011

2.2. Objetivos específicos

Describir las características de cuatro unidades productivas, núcleo familiar y sistemas agroforestales con café, bajo manejo orgánico

Calcular la contribución del reciclaje en concepto de carbono almacenado de árboles, arbustos de café, mantillo y suelo en cuatro sistemas agroforestales con café, bajo manejo orgánico

Calcular la diversidad, abundancia y riqueza específica del componente arbóreo, así como la diversidad de microorganismos y artrópodos del suelo en cuatro sistemas agroforestales con café, bajo manejo orgánico

Identificar, con base en los principios agroecológicos, el manejo que los productores están realizando en sus sistemas agroforestales con café, bajo manejo orgánico

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1 Agroecología

Para Sarandon y Flores (2020, p.59) la agroecología es “la ciencia que reúne, sintetiza y aplica conocimientos de la agronomía, ecología, sociología, etnobotánica y otras ciencias afines, con una óptica holística y sistémica para generar, validar y aplicar estrategias adecuadas para el diseño, manejo y evaluación de sistemas agroalimentarios sustentables”.

Para Altieri (2001, p. 28, 29) la agroecología “es el estudio holístico de los Agrosistemas en conjunto con su medio donde lo importante es la forma, dinámica, función e interrelaciones, además de los procesos ecológicos. La forma o diseño de estos sistemas puede fundamentarse en los principios: aumentar el reciclaje de biomasa mejorando la fertilidad de los suelos, manejar la materia orgánica favoreciendo la actividad biológica del suelo, manejo de cobertura del suelo, la diversificación de especies en el agroecosistema, aumentar las interacciones biológicas promoviendo procesos y servicios ecológicos”.

Los principios agroecológicos se hacen efectivos utilizando diversas prácticas y estrategias que inciden en el comportamiento de un agroecosistema influyendo en su manejo y diseño buscando la complejidad de sus interacciones según el contexto, por ello la agroecología no es una receta si no una sumatoria de condiciones que funcionan como un todo.

Los principios sobre los cuales se fundamenta la agroecología son citados por Nicholls, Altieri y Vásquez, (2015, p. 62, 63 y 66)). según Altieri, 1995 y Gliessman, 1998, son:

1. Mejorar el reciclaje de biomasa, con el fin de optimizar la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes a través del tiempo.

2. Fortalecer el sistema inmunológico de los sistemas agrícolas mediante el mejoramiento de la biodiversidad funcional (enemigos naturales, antagonistas, entre otros), mediante la creación de hábitat adecuados.
3. Proporcionar las condiciones del suelo más favorables para el crecimiento de las plantas, en particular mediante la adición de materia orgánica y el aumento de la actividad biológica del suelo.
4. Minimizar las pérdidas de energía, agua, nutrientes y recursos genéticos mediante el mejoramiento, conservación y regeneración de los recursos suelo, agua y biodiversidad agrícola.
5. Diversificación de especies y de recursos genéticos en el agroecosistema a través del tiempo, espacio y paisaje.
6. Aumentar las interacciones biológicas y las sinergias entre los componentes de la diversidad biológica agrícola, promoviendo así los procesos y servicios ecológicos claves.

Por su parte IDAP y FAO (2018, p. 54) comunican según ellos seis principios agroecológicos, siendo estos:

1. Estimular la máxima biodiversidad. Estado de diferenciación de los componentes animales y vegetales del sistema
2. Alta tasa de reciclaje. Tasa de recirculación de nutrientes dentro del sistema
3. Aumentar las interacciones de los componentes del sistema. Nivel de interacción y complementación entre componentes del sistema
4. Asegurar la buena condición del suelo. Implementación de prácticas tendientes a la conservación de la estructura y funcionamiento de la biología del suelo
5. Diseñar y fortalecer un sistema de manejo ecológico de plagas y enfermedades. Mediante prácticas y mecanismos naturales
6. Considerar las bases culturales de los sistemas tradicionales. Conocimiento práctico y teórico basado en los sistemas patrimoniales heredados y la identidad cultural

Para la FAO (2020, p. 1) la agroecología “se basa en aplicar conceptos y principios ecológicos para optimizar interacciones entre las plantas, animales, los seres humanos y el medio ambiente,

abordando, además, los aspectos sociales que deben contribuir para lograr un sistema alimentario justo y sostenible”. Nicholls, Altieri, Vásquez (2015, p. 61) plantean que “los sistemas agrícolas diversificados promueven procesos como reciclaje de nutrientes, acumulación de materia orgánica, activación biológica del suelo, flujos cerrados de energía, conservación de agua y suelo y balance de las poblaciones de plagas y enemigos naturales, claves para autosostenerse”. La clave es lograr una alta diversidad para acercarse lo más posible al funcionamiento de un ecosistema natural.

NTON 11-037-12 Caracterización, regulación y certificación de unidades de producción agroecológica en su escrito expresa que “la agricultura ecológica se basa en la agroecología, busca aprovechar los recursos locales al máximo y sinergias de sus procesos, busca el manejo del sistema de producción”. La agroecología es una ciencia que busca que la agricultura sea sostenible, es holística pues busca la comprensión de los procesos de un fenómeno, además del valor adjudicado a la influencia antropocéntrica. Se acerca tanto a la definición de agricultura orgánica la cual se fundamenta en el manejo del suelo, la diversidad y el mínimo uso de recursos no renovables e insumos para proteger la salud de los seres vivos y el ambiente (03 de julio 2013, p. 7)

3.2 Caracterización

Según la RAE (2020) caracterización “es la acción y efecto de caracterizar, el cual a su vez significa determinar los atributos de alguien o de algo, de modo que claramente se distingue de los demás”. Por su parte Obregón y Porras (2020, p. 4) citando a Bolaños (1999) expresan que “caracterización se entiende por la descripción de las características primordiales y las múltiples interrelaciones de las organizaciones”.

3.3 Agroecosistemas

Basado en Montané de la vega (2015) asevera que “un ecosistema es un área que cuenta con organismos productores, consumidores y descomponedores, en proporciones tales, que se

manifiesta una actividad biológica constante y equilibrada de manera sostenida” (p. 18), mientras que Altieri (2001) plantea que los agroecosistemas “son comunidades de plantas y animales interactuando con su ambiente físico y químico que ha sido modificado para generar productos diversos” (p. 28, 29). Fernández y Leva (2003, p. 216) confirman que “los ecosistemas son transformados por el hombre para producir ciertos productos biológicos de forma continuada con técnicas agrícolas y ganaderas”.

Entre los ecosistemas transformados están los sistemas agroforestales como tales, por lo que Palomeque (2009, p. 5 y 12) considera que “bajo un manejo sostenible de la tierra se incrementa su rendimiento, combinando cultivos con árboles de forma simultánea o secuencial en la misma unidad de tierra, como el café, donde el árbol mejora el suelo, clima y brinda productos adicionales”.

3.4 Diversidad

Acuñado en 1985 por Edward O. Wilson en el Foro Nacional sobre diversidad biológica de E. U. publicando sus resultados en 1988 como Biodiversidad. Bravo (2013, p. 9) refiere que “la diversidad está formada por especies de plantas, animales, hongos y microorganismos que viven en un espacio determinado, incluyendo además la variabilidad genética, procesos ecológicos y evolutivos que se dan a nivel de genes, especies, ecosistemas y paisajes”. Por su parte Montané de la Vega (2015, p. 50) sostiene que “la biodiversidad son los seres vivos en la naturaleza en sus diversos ecosistemas en un momento dado lo que brinda su relevancia”.

Existen formas de medir la diversidad en los agroecosistemas utilizando índices de diversidad como Shannon - Wiener el cual, según Pérez (2004, p. 183) se encarga de “medir el grado de incertidumbre de la elección de un individuo al predecir la especie a la cual pertenece habiendo sido escogido al azar dentro una de una población”.

López Franco *et. al.* (2013) argumenta que “Shannon Wiener toma en cuenta el número de especies y la equitatividad o uniformidad de la distribución de los individuos de cada especie, por tanto, un mayor número de especies incrementa la diversidad y una mayor uniformidad también” (p. 161).

Según Samo, Garmendia y Delgado (2008, p. 191) afirman que “el índice de Shannon es el más utilizado para cuantificar biodiversidad, refleja la heterogeneidad entre el número de especies presentes y su abundancia relativa, mide la incertidumbre asociada a la selección aleatoria de un individuo en una comunidad”. Este índice proviene de la teoría de la información utilizado para estimar el máximo de información que puede llegar a tener un mensaje, se calcula como la suma de la proporción de cada especie multiplicada por el logaritmo en base dos de esa proporción, se le antepone un signo negativo debido a que el $\log_2 P_i$ da un valor negativo.

Se utiliza para medir la diversidad de especies, es representado por la letra mayúscula H' con un número positivo que en ecosistemas naturales varía entre 0,5 y 5, normalmente se ubica entre dos y tres; cuando es menor a dos se considera un ecosistema bajo en diversidad y cuando supera el tres se considera altos en diversidad de especies. No presenta límite superior. Según la Wikipedia (22 de julio 2020) los “ecosistemas con alta diversidad son bosques tropicales y arrecifes de coral, mientras que ecosistemas con baja diversidad son las zonas desérticas”. Para Pla (2006, p. 583) asevera que “los estimadores de índices de diversidad se basan especialmente en la frecuencia relativa de cada especie y en su riqueza de especies”.

3.5 Biomasa

Según Montané de la Vega (2015, p. 20) plantea que la materia orgánica “es la materia orgánica con la que cuentan los seres vivos, la cual se va disminuyendo conforme avanza en las cadenas tróficas”. Por su parte Sutton (1996) afirma que “es la cantidad total de materia viviente en un área determinada” (p. 285). Biomasa vegetal “es la cantidad de vegetación que hay por unidad de superficie en un momento dado” (Fernández y Leva, 2003, p. 56). La biomasa forestal se

define como “el peso seco de materia orgánica que existe en un ecosistema forestal, si bien considera la materia orgánica arriba y bajo el suelo, en términos de manejo forestal se refiere a la que se encuentra contenida en los árboles”. Según Ruíz, Delgado y Carrera (2020, p. 105) afirman que “la biomasa forestal normalmente es cuantificada en toneladas por hectárea”.

La biomasa de un agroecosistema se almacena a partir de restos muertos de plantas y animales constituyendo los detritos los que se almacenan en el suelo siendo la mayoría de origen vegetal, esto es materia muerta en pie, la hojarasca de plantas que han caído al suelo y el mantillo (restos de seres vivos troceados por acción de los animales) y está relacionado con la capacidad de producción primaria del ecosistema. (Fernández y Leva, 2003, p. 91-93).

Los procesos que sufre la biomasa dentro de un sistema agroforestal se denomina reciclaje, el cual es la “transformación de los residuos, dentro de un proceso de producción de varias etapas incluido el compostaje y la biometanización, pero no la incineración con recuperación de energía” (Pérez, Rodríguez, 2015, p. 280)

3.6 Términos forestales

Según el CATIE (2002, p. 205) afirma que “latizal bajo aquellos árboles cuyos diámetros oscilan entre 1.5 - 4.9 cm de DAP y latizal alto árboles con diámetros de 5 - 9.9 cm DAP, fustal son árboles con DAP mayor o igual a 10 cm de DAP”. De Igual manera un bosque en desarrollo “es el área que presenta árboles con diámetros promedios mayores a 10 cm DAP y una edad menor que la óptima de producción” (NTON 18-001-04, 2004, p. 82).

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 (Ruiz, Delgado y Carrera, 2020, p. 59). Para Picard, Saint-André y Henry (2012) sostienen que “las ecuaciones alométricas permiten predecir la biomasa de un árbol a partir de su diámetro

y altura ayudando a estimar la contribución de los ecosistemas forestales al ciclo del carbono” (p. 17, 23).

3.7 Tipificación de productores de café

Según sus características los productores se pueden agrupar en pequeños, mediano y grandes productores de café. Según MAGFOR, IICA y CONACAFE (2008, p. 8) los pequeños productores son quienes cultivan de 0.1 – 14 ha y obtienen rendimientos promedios de 114 a 500 kg ha⁻¹, mientras que los caracterizados como medianos productores son los que cultivan entre 14.07 a 35 ha con rendimientos promedios de café oro de 909 kg ha⁻¹ finalmente los grandes productores son los que cultivan más de 35 ha y que logran rendimientos de café oro promedio de 1 363.63 kg ha⁻¹.

El 92 % (4 720) de los productores de café de la zona del Pacífico y Boaco son pequeños productores, quienes obtienen rendimientos promedio de 305 kg ha⁻¹ de café, los medianos productores representan el 7.2 % con áreas de 14.7 a 35 ha con café y rendimientos de 883.11 kg ha⁻¹ y el gran productor con más de 35 ha y rendimientos de 2 402.58 kg ha⁻¹. (Ibarra, Ramírez y Soza, 2004, p. 30)

El pequeño productor de café orgánico según El Nuevo Diario (22 de abril, 2013) citando a ACEN afirma que, son productores que tienen de 3.5 a siete ha de café, con rendimientos aproximados de 389.6 a 519.47 kg ha⁻¹, de este tipo de producción se exportaron en 2005 aproximadamente 24 674 sacos de 60 kg con un precio en el mercado internacional de 15 a 20 % arriba del precio del café convencional, además un 20 % del café nicaragüense se vende de forma diferenciada. Se puede caracterizar a un productor de café orgánico en base al área de café establecida, a los rendimientos obtenidos en kg ha⁻¹, uso de insumos y labores de manejo del sistema productivo.

Montagnini, Somarriba, Murgueitio, Fassola y Eibl (2015, p. 137) estudiaron diversos arreglos de sistemas agroforestales con diversos niveles de insumos, entre ellos “el sistema orgánico, para el cual definieron dos niveles, según su manejo: M.O. manejo orgánico intensivo y B.O. manejo bajo orgánico”, los cuales se caracterizaron por:

Montagnini y otros (2015, p. 137) plantea que manejo orgánico intensivo (M.O.): Usa tipo de fertilizantes orgánicos (gallinaza, pulpa de café, minerales), altas dosis de enmiendas orgánicas con 100 kg de minerales ha⁻¹ al año, tres aplicaciones de biofermentados al año, cuatro chapias selectivas al año, realiza podas selectivas en café cada año y resiembra anual, manejo orgánico de enfermedades, para las plagas utiliza insecticidas naturales por foco y control biológico, realiza cosecha total de frutas y utiliza trampas para broca, realiza podas de los árboles de sombra.

Montagnini y otros (2015, p. 137) clasifica como manejo orgánico bajo (B.O.): Solamente utiliza pulpa de café como enmienda orgánica en bajas cantidades sin aplicar biofermentos, cuatro chapias selectivas de buenas hierbas de la cobertura, podas selectivas anuales del café y resiembras anuales, no controla enfermedades y cosecha el total de frutos, realiza podas moderadas de los árboles.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del estudio

El estudio se realizó en el departamento de Boaco localizado en la zona central de Nicaragua y a una distancia de 88 km de la Ciudad Capital Managua. Incer (2000, p. 248) afirma que “el departamento limita al Norte con Matagalpa, al Sur con Chontales y el lago de Nicaragua, al Este con la RAAS y al Oeste con Managua y Granada”. Según el INIDE (2008, p. 7) el departamento se divide en seis municipios con una extensión territorial de 4 176.68 km².

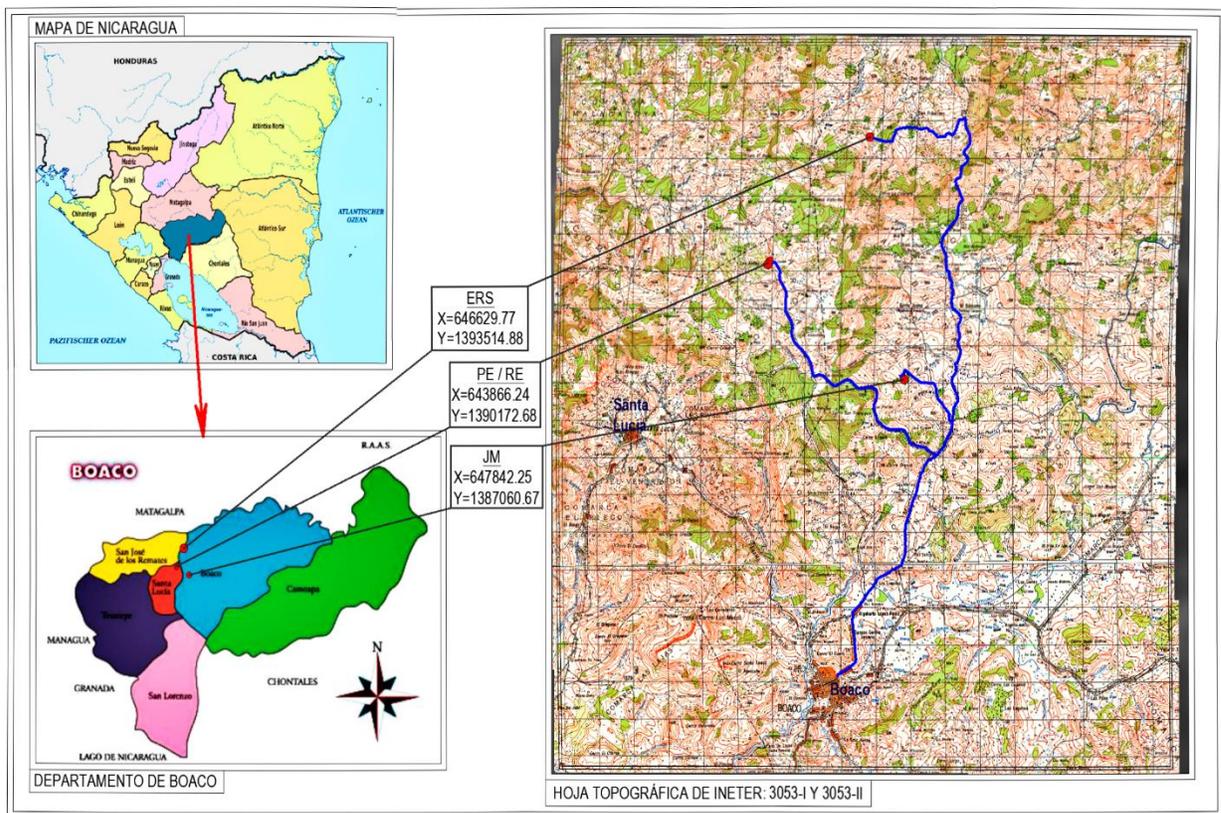


Figura 1. Ubicación del área de estudio de cuatro sistemas agroforestales con café bajo manejo orgánico (Fuente: INETER. sf.).

4.2 Descripción de las zonas de estudio

En el año 2011 se realizó el estudio en tres de los seis municipios del departamento de Boaco: Municipio de Santa Lucía comarca Las Mercedes fincas de los señores Pascual Espinoza (PE)

ubicada a los 12°34'26.86" de latitud Norte y 85°40'31.64" de longitud Oeste con una altitud de 890 metros sobre el nivel del mar (msnm) y Remigio Espinoza (RE) localizado a los 12°34'25.01" de latitud Norte y 85°40'32.61" de longitud Oeste con una altitud de 880 msnm, ambos a una distancia de 9.4 km al norte de la Ciudad de Boaco.

Municipio de San José de los Remates comarca El Bejuco finca del Señor Elías Rivas Sequeira (ERS) localizado a los 12°36'14.26" de latitud Norte y 85°38'60" de longitud Oeste a una altitud de 601 msnm y a una distancia de 12.44 km al norte de la cabecera departamental; Municipio de Boaco comarca San Buena Ventura finca del Señor Juan Mora (JM) localizada a los 12°32'45.41" de latitud Norte y 85°38'20.93" de longitud Oeste a una altitud de 554 msnm a una distancia de 7.8 km al norte de la cabecera departamental.

En el año 2005 Buitrago señala que San José de los Remates y Santa Lucía son parajes montañosos, frescos y cafetaleros con suelos inceptisoles al sur de Santa Lucía, los suelos con pH ligero ácido con profundidad media a baja, drenaje regular, relieve ondulado desarrollados por cenizas volcánicas y apta para cultivos como el café (p.11).

Incer (2000, p. 249) afirma que “la serranía Chontaleña inicia al sur de río Grande con las elevaciones de Cumaica (1181 m), Santa María (1183 m), Cerro Alegre (1184 m), los Talnites (980 m), las Mesas de Boaco (994 m) y las Mercedes (900 m)”. Este grupo montañoso es rodeado por Muy muy, Esquipulas, San José de los Remates, Santa Lucía y Boaco, en cuyas áreas se cultiva café de sol y de sombra.

La vegetación representada por un bosque tropical entre matorral seco hasta bosque húmedo en sus límites al este, no pinares ni robledales, pero sí cerros altos en nebliselva en Boaco y Camoapa la mayor parte de la vegetación natural ha sido sacrificada para la siembra de pastizales.

Climate-data.org (s.f.) plantea que “Boaco se ubica a una altitud de 355 msnm con una temperatura media histórica (1982 al 2012) de 24.5 °C y una precipitación media por año de 1 334 milímetros”.

4.3 Diseño metodológico

4.3.1 Tipo de investigación

La investigación fue no experimental, bajo un diseño transversal descriptivo el cual según Sampieri (2014) “es aquel bajo el cual se recolectan datos en un solo momento, su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado” (p. 154-155). Se trabajó con cuatro sistemas agroforestales, dos en altitudes próximas a los 900 m.s.n.m. y dos a altitudes próximas a los 600 m.s.n.m., en fincas de pequeños productores de café orgánico en el Departamento de Boaco con áreas de café de 2.81 a 4.22 ha.

4.3.2 Fases del proceso metodológico

Para cumplir con los objetivos propuestos en esta investigación y llevar un orden de las actividades realizadas se diseñó un proceso metodológico que constó de tres fases

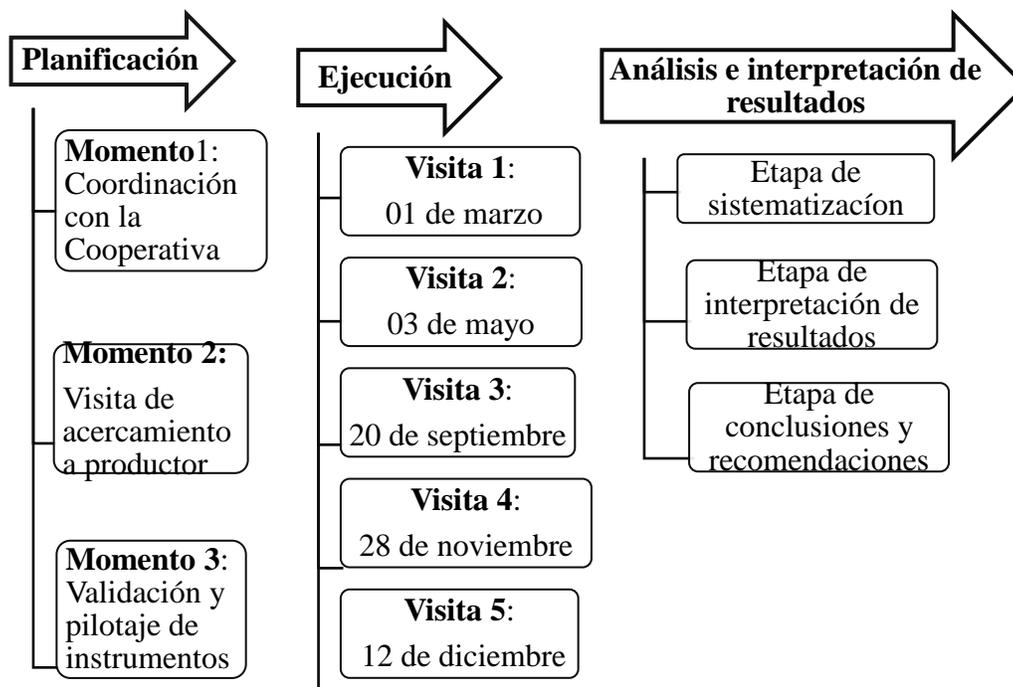


Figura 2. Fases del proceso metodológico de cuatro sistemas agroforestales con café bajo manejo orgánico (enero – diciembre, 2011).

Fase de planificación

Esta fase se realizó en tres momentos:

Primer momento coordinación con la Cooperativa Tierra Nueva:

En el mes de enero de 2011 se conversó con personal de la Cooperativa Tierra Nueva, quienes trabajan con productores de café con manejo orgánico; ellos se mostraron interesados en obtener nueva información de sus socios acordando participar y apoyar la investigación. Se asignó al Ingeniero Ramiro Espinoza, técnico que asiste a los productores, y que fungió como enlace entre el investigador, la cooperativa y los productores.

Segundo momento, visita de acercamiento a productores:

En el mes de enero en compañía del técnico, se realizó la primera visita a cada uno de los productores en su unidad productiva para consultar su disposición de participar y apoyar la investigación, además de planificar las próximas visitas y actividades a realizar.

Tercer momento, validación y pilotaje de instrumentos:

En el mes de febrero se validó y piloteo los formatos utilizados para coleccionar información, en un sistema agroforestal con café ubicado 6 km al norte de la Ciudad de Camoapa. Los formatos utilizados para calcular diagnóstico fitosanitario, cobertura de suelo fueron los propuestos por la metodología correspondiente. Los formatos de inventario de especies arbóreas, conteo de lombrices, cálculo de pendiente, porcentaje de sombra y biomasa (construcción propia). El instrumento de encuesta aplicado al productor fue facilitado por uno de mis asesores.

El equipo utilizado consistió en cinta métricas, pesa digital, GPS marca Garmin facilitados por la UNA Sede Regional Camoapa; el altímetro HAGA, cinta diamétrica fueron facilitados por uno de mis asesores y los marcos cuadrados, cilindro para obtener la muestra para calcular densidad aparente de suelo fueron de construcción propia.

Durante este momento se gestionó el transporte con la dirección de la Universidad Nacional Agraria Sede Camoapa. Se visitó finca en Camoapa propiedad del señor Jorge Duarte con aproximadamente 0.5 ha con café bajo sombra donde se practicó la medición de cada una de las variables de campo.

Fase de ejecución

Se realizaron cinco visitas a los SAF, dos en época seca; la primera se realizó el día primero de marzo efectuando el diagnóstico fitosanitario y muestreo de suelo, la segunda visita realizada el tres de mayo contabilizando lombrices en suelo, cálculo de pendiente y muestreo de biomasa.

En época lluviosa se realizaron tres visitas; la primera el 20 de septiembre donde se calculó porcentaje de sombra, cobertura de suelo, muestreo de artrópodos, muestreo de microorganismos; el día 28 de noviembre se contabilizó lombrices en el suelo, Inventario de

especies arbóreas y el 12 de diciembre se aplicó el instrumento de encuesta dirigida al productor. El resto de las variables se calculó a partir de los datos antes mencionados.

Fase de análisis y presentación de resultados

Esta fase se desarrolló en tres etapas:

Etapa de sistematización: La información se ordenó, sistematizó para su digitalización utilizando Microsoft Word y Excel para realizar los cálculos de los datos registrados en campo.

Etapa de interpretación de resultados: Obtenidos los resultados se ordenaron en un documento de tesis en base al orden en que fueron propuestos los objetivos, destacando datos importantes; posteriormente se realizó revisión documental para relacionar conclusiones de otros estudios con lo encontrado en esta investigación.

Etapa de conclusiones y recomendaciones: En base a los resultados obtenidos y su interpretación se redactaron las conclusiones que permitieron responder al objetivo general de la investigación y aplicar la caracterización correspondiente a los sistemas agroforestales estudiados que permitan realizar las debidas recomendaciones de manejo agroecológico. Seguido presentar el estudio ante un tribunal y finalmente publicarlo.

4.3.3 Variables evaluadas

El proceso de azarización utilizado para las variables consistió en la selección de cinco puntos, procediendo de la siguiente manera: Ubicado en cada una de las esquinas de la parcela temporal (NE, SE, NW, SW) y de espaldas a ella se lanzó una piedra unida a un cordel de un metro de longitud, marcando el punto donde la piedra se detenía.

Para ubicar el quinto punto, se azarizó con el lanzamiento de una moneda, donde escudo correspondería al costado Este y número cinco al costado Oeste de la parcela, luego ubicado en la parte media (25 metros de distancia de las esquinas correspondientes) del costado seleccionado se procedió al lanzamiento de la piedra y de esta forma identificar el quinto punto.

Esta azarización fue utilizada para las variables: carbono almacenado por arbustos, carbono almacenado por mantillo, carbono almacenado por el suelo, presencia de artrópodos, presencia de microorganismos, presencia de lombrices, biomasa almacenada en el suelo, cobertura del suelo y diagnóstico del estado fitosanitario del café.

Para la variable sombra del SAF se utilizó la piedra con el cordel lanzada en tres sitios, esquina NE, SE y el costado seleccionado bajo el mismo procedimiento anterior para ubicar los tres puntos.

Cuadro 1. Operativización de variables de cuatro sistemas agroforestales con café bajo manejo orgánico

Variable	Descriptor	Indicador
Características de los sistemas productivos	Describir las características de la finca, la familia y el SAF con café	Finca
		Familia del productor
		Sistema agroforestal con café
Carbono almacenado (t ha ⁻¹ C)	Carbono almacenado en el sistema agroforestal (t ha ⁻¹ C)	Carbono almacenado en árboles
		Carbono almacenado en arbustos
		Carbono almacenado en mantillo
		Carbono almacenado en suelo
Diversidad	Cálculo de diversidad de organismos en el	Árboles

Variable	Descriptor	Indicador
	sistema agroforestal utilizando Índice de diversidad, categorías taxonómicas, frecuencia y densidad (individuos ha ⁻¹)	Artrópodos Microorganismos Lombrices
		Manejo utilizado por el productor Biomasa almacenada en suelo (t ha ⁻¹) Cobertura de suelo (%) Sombra del agroecosistema (%)
Manejo de sistemas agroforestales	Efectos del manejo de los componentes dentro del SAF	Diagnóstico del estado fitosanitario del café (%) Clasificación diamétrica de árboles (cm) Clasificación de árboles por su altura (m) Contribución de prácticas de manejo a los principios agroecológicos de los SAF con café

4.3.4 Descripción de Variables evaluadas

Características de los sistemas agroforestales con café

Formada por tres indicadores, las que fueron: características generales de la finca, características de la familia del productor, ambas variables investigadas utilizando el instrumento de encuesta cuya estructura contempla los títulos de características generales, aspectos sociales, aspectos económicos, aspectos ecológicos y aspectos del manejo del sistema agroforestal con café. La tercera variable, características del sistema agroforestal con café se registró utilizando la observación directa y el muestreo (anexo 1).

Característica general de la finca

Se investigó el tipo de tenencia de la propiedad, la distribución del aprovechamiento de la tierra, otras formas de ingreso económico, altitud, vías de acceso a la propiedad, otros ingresos generados por la finca, recursos con que cuenta la unidad productiva

Características del núcleo familiar

Se investigó el número de personas que componen el núcleo familiar, nivel de escolaridad, edad de los miembros de la familia, acceso a servicios básicos y la experiencia en años que tiene el productor trabajando con café y con café orgánico, años de estar organizado.

Características del SAF con café

Se midió la pendiente del suelo en cinco puntos seleccionados al azar los cinco datos se promediaron a un dato único en porcentaje, se utilizó cinta métrica y aparato A para su cálculo. Se realizó un muestreo de suelo en cada uno de los SAF con café para identificar densidad aparente para el que se utilizó el método del cilindro, mientras que la NOM – 021 RECNAT, (2000) se utilizó para determinar textura por el método de la pipeta (p. 54), pH medido en agua (p. 12), disponibilidad de nitrógeno por el método microKjeldahl (p. 20), fósforo por el procedimiento Bray y Kurtz 1 (p. 25), potasio por el método de acetato de amonio (p. 27). Se observó otros rubros generados por el cafetal, orientación de los surcos de café, obras de conservación de suelos.

Contribución del reciclaje al Sistema agroforestal con café

Carbono almacenado en el sistema agroforestal con café

En el caso de árboles en SAF con café, arbustos de café y mantillo se les calculó biomasa seca para posteriormente utilizar el factor carbono 0.5 para obtener 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 por árboles en los SAF con café ($t\ ha^{-1}\ C$)

Se realizó inventario de especies arbóreas con diámetro a la altura del pecho mayor o igual a cinco centímetros, a los que se les midió altura en metros y DAP en centímetros dentro de la parcela temporal de 0.25 ha, estos datos se utilizaron en la ecuación alométrica para calcular carbono de árboles en cafetal propuesta por Suárez, Segura y Kanninen (2004, p. 115) y obtener kilogramos de biomasa seca, la que se multiplicó por factor carbono de 0.5, posteriormente este resultado se multiplicó por cuatro y dividió entre mil para transformarlos a toneladas por hectárea de carbono almacenado.

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

$$\log 10B = -0.9578 + 2.3408 * \log 10 (D)$$

Donde:

B= biomasa aérea total ($kg\ planta^{-1}$);

D= diámetro del tronco a 1.30 m del suelo

Carbono almacenado por arbustos de café en los SAF ($t\ ha^{-1}\ C$)

Se utilizó una muestra aleatoria de cinco puntos representativos dentro de la parcela temporal (0.25 ha) con 10 plantas por punto para un total de 50 plantas. En cada punto se tomaron cinco plantas de un surco y cinco plantas del surco contiguo. Se midió altura de las plantas de café en metros y diámetro del tallo en centímetros, específicamente 15 cm arriba de la superficie del suelo.

Para encontrar biomasa seca se utilizó la fórmula propuesta por (Suárez *et. al.*, 2004. p. 118) con un ($R_{2adj} = 0.95$), específicamente para arbustos de café, posteriormente el resultado se multiplicó por el factor carbono de 0.5 (GCE, sf. p. 42) y por la densidad efectiva de arbustos por hectárea para obtener carbono almacenado:

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

Donde:

B = biomasa aérea total ($kg\ planta^{-1}$);

D15 = diámetro del tronco a 15 cm del suelo

H = es la altura (m) con un $R^2_{adj} = 0.95$

Carbono almacenado por el mantillo en los SAF ($t\ ha^{-1}\ C$)

Se utilizaron cinco puntos representativos de muestreo utilizando el marco cuadrado de 0.25 m² en la parcela temporal en donde se colectó y pesó la biomasa de hojarasca presente en el suelo, la colecta de la fracción de residuos vegetales se hizo en la hilera y en la calle del cafetal, excluyendo ramas con un diámetro mayor a dos cm.

Las cinco submuestras por fracción obtenidas en biomasa tanto de la hilera como de la calle se mezclaron y homogenizaron para obtener una muestra compuesta de 500 g, la que se llevó al

laboratorio de fisiología vegetal de la Universidad Nacional Agraria en bolsas de papel kraft para su secado en un horno (mufla) a una temperatura de 65 °C hasta lograr un peso constante (72 horas); de la muestra compuesta se tomó una porción de 100 g de peso seco para determinar los elementos N, P, K, Ca, Mg como minerales en el mantillo. La materia seca del mantillo ($t\ ha^{-1}\ m.s.$) se multiplicó por el factor de carbono 0.5 para obtener carbono almacenado en mantillo (GCE, sf. p. 42).

Carbono almacenado en el suelo de los SAF ($t\ ha^{-1}\ C$)

En cada uno de los cinco puntos seleccionados al azar se extrajo una submuestra de suelo de 500 g a una profundidad de 0.20 m, precisamente en el área de goteo del café. Las cinco submuestras se mezclaron, homogenizaron y tamizaron para obtener una muestra compuesta de 1 kg de tierra por agroecosistema. (adaptado de Centeno y Herrera 2005, p. 7).

Las muestras compuestas fueron introducidas en bolsas plásticas bien rotuladas con su fecha, código de la finca, propósito y llevadas al laboratorio de suelos y aguas de la UNA para determinar porcentaje de carbono orgánico por el método de Walkley y Black (NOM-021 REC/NAT, 2000, p. 18). Además, en cada punto se extrajo una muestra de suelo a 10 cm de profundidad, utilizando el método del cilindro con 10 cm de longitud y cinco centímetros de diámetro para calcular densidad aparente en gramos por centímetro cúbico. Se utilizó la fórmula citada por Andrade & Ibrahim, (2003, p. 115) para calcular 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 ($g\ por\ cm^3$)

Diversidad

Diversidad arbórea utilizando el índice de Shannon-Wiener en SAF con café

Se utilizó el índice de Shannon-Wiener para determinar el índice de diversidad en árboles dentro del agroecosistema con café, así como la riqueza específica definida como taxa_S , abundancia de individuos (individuals) por caso y dominancia (Dominance_D) lo que es igual al índice de Simpson, mientras que Simpson 1-D es una expresión que mide equidad cuando utilizamos el software PAST.

En el caso de los árboles se tomaron en cuenta todas aquellas especies que estaban en la parcela temporal y que su altura era mayor o igual a cinco metros. PAST es un software diseñado originalmente para analizar datos paleontológicos; sin embargo, en más de 20 años se ha utilizado para otras áreas como la ecología, la última versión es la 4.01 disponible desde marzo 2020, ubicada en el sitio: <https://folk.uio.no/ohammer/past/>.

Presencia de artrópodos en el suelo a nivel de órdenes y subfilum en los SAF con café

En la parcela temporal se identificaron cinco puntos al azar y utilizando el marco cuadrado de 0.25 m^2 se colectó los artrópodos dentro del marco y se depositaron en vasos de vidrio con alcohol al 70 %. También se extrajo una muestra de suelo a cinco centímetros de profundidad. Los artrópodos colectados y la muestra de suelo fueron enviadas al Museo entomológico de la Universidad Nacional Agraria donde se identificaron taxonómicamente por medio de comparación de especímenes con la colección de referencia de esta institución académica. Se contabilizó número de artrópodos a nivel de orden y subfilum en 0.25 m^2 .

Presencia de microorganismos en el suelo a nivel de género (hongos, bacterias y nematodos)

La colecta de esta información se realizó por la mañana, utilizando cinco puntos seleccionados al azar en la parcela temporal, en la zona de goteo de las ramas del café, en cada punto se obtuvo una submuestra de suelo de un kg a una profundidad de 15 cm, las cinco submuestras se mezclaron y tamizaron para lograr homogenizarlas, tomándose solamente 1.5 kg (0.5 kg de muestra por cada tipo de organismo a determinar); luego se guardaron en bolsa plástica sin exponerse al sol y se etiquetaron para su envío al laboratorio de microbiología de la Universidad Nacional Agraria para la determinación de género y especie de ser posible, para hongos se utilizó la clave de Barnett y Hunter (1999), para bacterias se utilizó la clave de Schaad, Jones y Chun (2015) y para nemátodos la clave de Crozzoli (2014).

Presencia de lombrices en el suelo de los cuatro SAF investigados (lombrices por m²)

Este indicador se colectó en época seca y época lluviosa, se realizó conteo de lombrices utilizando marco cuadrado de 0.25 m² a 10 cm de profundidad del suelo en cinco puntos seleccionados al azar. Se utilizó una pala para excavar el suelo y una zaranda de (0.5 m * 0.5 m) para tamizar el suelo y facilitar el conteo.

Se anotó el número de lombrices por cada punto de muestreo, y se calculó el promedio por SAF, el resultado se expresó en número de lombrices por m² y al final se reincorporaron las lombrices al suelo correspondiente.

Manejo que brinda el productor al SAF con café

Esta información se registró de dos maneras: la primera se utilizó instrumento de encuesta (anexo 1), la que permitió registrar las labores de manejo como: podas, sistemas de poda,

diversidad de especies forestales usadas para sombra del cafetal, abonado, manejo sanitario, manejo de la sombra, mano de obra.

La segunda manera fue realizando mediciones in situ para las variables: biomasa almacenada en el suelo ($t\ ha^{-1}$), cobertura del suelo (%), sombra dentro del sistema agroforestal con café (%), diagnóstico fitosanitario del café (%), clasificación diamétrica de la población arbórea en los SAF con café (0.25 ha), clasificación de la población arbórea por estrato según su altura en metros (0.25 ha) y contribución de las prácticas de manejo a los principios agroecológicos. Esta información servirá para caracterizar si el manejo de los SAF está cumpliendo con principios de agroecología.

Biomasa almacenada en el suelo ($t\ ha^{-1}$)

En la parcela temporal se utilizaron cinco puntos de muestreo al azar, se recolectó y pesó la biomasa de hojarasca presente en el suelo. La colecta de biomasa se efectuó en la hilera y en la calle del cafetal promediando ambos pesos, se utilizó marco cuadrado de $0.25\ m^2$, la muestra recolectada se separó en componente hojas, fraccionado y ramas (con un grosor menor a dos cm).

Cada fracción se depositó en bolsas de papel kraft por separado y se pesó en el campo. Se envió al laboratorio de fisiología vegetal de la UNA para extraer la humedad y obtener materia seca sometiendo la muestra a temperatura de $65\ ^\circ C$, durante 72 horas, hasta peso constante, el resultado se transformó a $t\ ha^{-1}$ de biomasa almacenada.

Cobertura del suelo (%)

Se utilizó la metodología punta de zapato propuesta por Guharay (2000, p. 204), iniciando en costado noreste en sentido de las agujas del reloj, recorriendo calle de por medio del cultivo y

cada 10 pasos se anotó en la hoja de colecta de información lo que encontrábamos en la punta del zapato, al final se determinó el porcentaje del tipo de cobertura encontrado con un total de 75 observaciones en la parcela temporal proporcional a lo propuesto por la metodología, donde se propone utilizar 200 a 300 observaciones en un área de 0.7-3.52 ha.

Sombra en el SAF con café (%)

Este indicador permitió determinar el porcentaje de sombra en el cafetal, para ello se utilizó un densiómetro óptico Modelo A, utilizado en un punto el cual estaba formado por cuatro observaciones dirigido hacia los cuatro puntos cardinales. Esta información se obtuvo de la parcela temporal.

El densiómetro consta de 24 cuadrículas en cada una de las cuales se toma el porcentaje de sombra realizando una sumatoria la que se multiplica por un factor de corrección de 1.04; las observaciones se tomaron a la altura del mentón dirigiéndose hacia los cuatro puntos cardinales. Como son 24 cuadrículas y cuatro observaciones esto suma 96 por tal razón se multiplicó por 1.04 para llegar al 100 % que es la unidad de medida a utilizar. Se realizaron tres puntos al azar dentro de la parcela temporal y posteriormente se promediaron.

Diagnóstico del estado fitosanitario del café (%)

La metodología utilizada fue recuento integral de plagas de café en época seca y época lluviosa, para lotes no mayores de 3.5 ha. Consiste en seleccionar cinco puntos en el cafetal, cada uno con dos estaciones de recuento en sentido opuesto; cada estación con cinco plantas y de cada planta se tomó una bandola; en la primera planta se escogió una bandola entre la parte media y la parte alta de la planta, en la segunda planta, se escogió una bandola entre la parte media y la parte baja de la planta y así sucesivamente hasta tener las cinco plantas de la estación. (Guharay 2000, p. 144 y 145).

En el caso específico del recuento de la época seca, además de lo anterior, para ver daños en hojas o frutos caídos al suelo, se utilizó un marco de madera de 0.25 m * 0.25 m; el cual, se situó frente a la primera estación del primer punto y se lanzó al azar el marco de madera debajo de cualquiera de las cinco plantas que conformaban esa estación; seguidamente se recogieron todas las hojas frescas que quedaron dentro del marco, así como los posibles frutos.

Las hojas frescas se separaron en tres grandes grupos: hojas sanas (sin daño fitosanitario, posiblemente que hayan caído por problemas fisiológicos), hojas minadas y hojas enfermas; se anotó la cantidad encontrada de cada tipo y finalmente se revisaron los frutos recogidos del marco y se anotó frutos sanos y frutos brocados. Para recolectar la información se utilizó una hoja de entrada de datos.

Clasificación diamétrica de la población arbórea en los SAF con café (0.25 ha)

Para calcular esta variable se utilizó la parcela temporal de 0.25 ha y con ayuda de una cinta diamétrica, registramos los diámetros a la altura del pecho (130 cm del suelo), de todos los árboles presentes en la parcela temporal, lo que se conoce como DAP. Se utilizó un spray para marcar las plantas ya registradas para no duplicar información. Se utilizó la clasificación diamétrica sugerida por Sabogal y otros, 2004, citado por Salazar, 2012, p. 48.

Latizal: de 5 – 9.9 cm de DAP

Fustal: de 10 – 30 cm de DAP

Árboles maduros: mayor a 30 cm de DAP

Clasificación de la población arbórea según su altura en metros (0.25 ha)

Para registrar esta variable se utilizó la parcela temporal de 0.25 ha y se midió la longitud del punto de observación al tallo del árbol, utilizando una cinta métrica de 30 m marca Trooper de fibra de vidrio y con un altímetro HAGA se midió los árboles con una altura \geq cinco metros.

Para clasificar la altura del dosel se utilizó la clasificación propuesta por (García, *et. al.*, 2010; citado por Pineda, 2012, p. 8) quien realizó una clasificación en cuatro categorías, retomando en este estudio las tres categorías superiores y se realizó un ajuste a la categoría bajo que en vez de ocho metros como cita Pineda, se tomó en cuenta árboles con altura a partir de cinco m.

Dosel bajo: árboles con altura de 5 a menos de 16 metros

Dosel medio: árboles con altura de 16 a 24 metros

Dosel alto: árboles con altura superior a los 24 metros

Contribución de prácticas de manejo a los principios agroecológicos de los SAF con café

Se utilizaron los resultados de los indicadores definidos en los cuatro SAF. Se organizó la información por cada uno de los seis principios agroecológicos y se definieron las prácticas de manejo que se relacionan. Para identificar cuál SAF aplicó en mayor o menor grado estos principios, se estructuró una escala relativa de valores numéricos de cero a uno (Se utilizaron datos técnicos reportados por la literatura, valores mayores y menores encontrados según contribuyan positivamente al sistema, para los cuales no se contó con parámetros técnicos e indicadores con repuesta dicotómica). La conversión de estos valores a la escala uno a cero indica que, el valor cercano o igual a uno representa el mejor comportamiento del indicador y el valor cercano o igual a cero es el comportamiento bajo o nulo.

Para algunos de los indicadores se seleccionó el mayor valor obtenido en cada práctica en uno de los cuatro SAF y se dividió entre los valores de los SAF restantes para encontrar su proporcionalidad, de igual manera se utilizaron valores menores aplicándose el mismo procedimiento, también se utilizó respuestas dicotómicas en cuatro de los seis principios. Es importante mencionar que los resultados de algunas prácticas no son benéficos para el agrosistema por lo tanto su contribución fue mínima o cero.

Para identificar la contribución de las prácticas de manejo realizadas por el productor se obtuvo de cada principio un promedio y de los seis principios un promedio total por SAF. Para este último se definió cinco intervalos relativos distanciados cada dos décimas emulando la escala likert utilizada en la metodología MESMIS, con su equivalente en una escala cualitativa: 1 a 0.81= máxima gestión de manejo orgánica (Max), 0.8 a 0.61 alta gestión de manejo orgánica (A), 0.6 a 0.41 media gestión de manejo orgánica (Med.), 0.40 a 20 baja gestión de manejo orgánica (B) y menos de 20 muy baja gestión de manejo orgánica (MB).

De los principios agroecológicos citados por Nicholls, Altieri y Vásquez (2015, p. 66) basados en (Altieri, 1995 y Gliessman, 1998) se retomaron los primeros cuatro:

1. Mejorar el reciclaje de biomasa, con el fin de optimizar la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes a través del tiempo
2. Fortalecer el sistema inmunológico de los sistemas agrícolas mediante el mejoramiento de la biodiversidad funcional (enemigos naturales, antagonistas, etc.) mediante la creación de hábitat adecuados
3. Proporcionar las condiciones del suelo más favorables para el crecimiento de las plantas, en particular mediante la adición de materia orgánica y el aumento de la actividad biológica del suelo
4. Minimizar las pérdidas de energía, agua, nutrientes y recursos genéticos mediante el mejoramiento, conservación y regeneración de los recursos suelo y agua y biodiversidad agrícola

De los principios agroecológicos de IDAP y FAO (2018, p. 54) en la serie número 12, se retomaron el número cinco y seis por considerarlos de importancia dentro del sistema agroforestal y la agroecología.

5. Diseñar y fortalecer un sistema de manejo ecológico de plagas y enfermedades: mediante prácticas y mecanismos naturales (controladores biológicos, rotaciones, entre otros)

6. Considerar las bases culturales de los sistemas tradicionales: conocimiento práctico y teórico basado en los sistemas patrimoniales heredados y la identidad cultural

La descripción detallada de cada una de las prácticas de manejo realizada en el sistema agroforestal y su relación con los principios agroecológicos utilizados para esta variable se localiza en (anexo 22).

4.3.5 Definición de la muestra

Según Sampieri (2014), “las muestras por conveniencia están formadas por unidades disponibles a los cuales se tienen acceso” (p. 390). La muestra se definió por conveniencia de la cooperativa y a sugerencia del técnico, se seleccionó las unidades productivas de los señores Juan Mora identificado en esta investigación con las siglas (JM), Elías Rivas Sequeira (ERS) y los Hermanos Pascual Espinoza (PE) y Remigio Espinoza (RE), siendo los criterios de su selección los siguientes: productores líderes en su comunidad, personas abiertas a la comunicación, estar ubicados en dos pisos altitudinales y que sean productores que apliquen las técnicas que les comparte la cooperativa acerca del manejo de sus cafetales.

4.3.6 Parcelas de muestreo

Camacho, (2000), citado por CATIE, (2002, p. 103) recomienda “utilizar parcelas de muestreo de forma cuadrada por la alta riqueza de especies con diámetro a la altura del pecho (DAP) ≥ 10 cm”. Para coleccionar la información se seleccionó un área única representativa del sistema denominada parcela temporal de muestreo de forma cuadrada de 50 m por 50 m (0.25 ha). con.

Schlegel *et. al.*, 2001, IPCC, 2000 citado por CATIE, (2002, p. 202) “proponen un nivel de precisión en cuanto al tamaño de parcela de cinco a 20 %”, por lo tanto, se utilizó una intensidad de muestreo según el área del agroecosistema de 5.92 % para el SAF con 4.22 ha y 8.90 % para los SAF de 2.81, además se cumplió con otros criterios que pudieron afectar la calidad de la

información colectada como evitar caminos cercanos a la parcela, así como riachuelos, construcciones y carretera.

La parcela temporal se ubicó en el centro del cafetal desde donde se visualizó un punto específico a partir del cual se midieron 25 m hacia cada uno de los cuatro puntos cardinales y utilizando el teorema de Pitágoras se encontraron los puntos de intersección NW, SW, NE y SE cuya longitud del centro de la parcela a cada punto de intersección fue de 35.35 m y la ubicación del punto específico se encontró utilizando un ángulo de 45° desde cualquiera de los lados con respecto a la hipotenusa para definir su dirección.

4.3.7 Recolección de datos

El estudio se desarrolló sin ningún tipo de restricción o control. En la época seca se realizó muestreo de suelo, diagnóstico fitosanitario y conteo de lombrices, estas dos variables últimas también se determinaron en la época lluviosa, además se calculó el porcentaje de sombra del SAF, cálculo de cobertura de suelo, inventario de especies arbóreas con Dap \geq cinco centímetros, muestreo de artrópodos, microorganismos y aplicación de instrumento de encuesta.

Las restantes variables fueron calculadas a partir de las variables antes descritas. De las 20 variables en total, siete requirieron ser examinadas en laboratorio y posteriormente analizadas con estadística descriptiva, el momento de medir la información dependió del ciclo fisiológico del cultivo y la época del año.

4.3.7 Análisis de datos

Los datos se analizaron con estadística descriptiva utilizando Microsoft office 2019 y para el índice de diversidad de Shannon – Wiener se utilizó el software PAST. A continuación, los resultados se presentan en cuadros y figuras.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Caracterización de los Sistemas Agroforestales con café

5.1.1 Zonas de baja altitud

Caso Juan Mora

Características generales de la finca

Finca Santa Gertrudis propiedad del señor Juan Mora (JM), dispone de 8.78 ha distribuidas de la siguiente manera 2.81 ha con café lo que representa el 32 % de la propiedad, 4.77 ha con pastos, 0.7 ha de frutal, 0.25 ha de otros cultivos temporales como chile jalapeño o maracuyá y 0.25 ha de infraestructura. Genera otros ingresos con la venta de frutas y obtiene leña, frutas y madera para consumo del hogar.

La zona donde se ubica la finca se observa alta presencia de actividad pecuaria, por tanto, baja masa boscosa. La casa es propia y está construida con techo de zinc, paredes de madera y el piso de tierra, Poseen fuente de agua permanente que les sirve para uso doméstico, agrícola y pecuario.

Características del núcleo familiar

El núcleo familiar está compuesto de seis personas, tres son menores de edad y de los adultos, dos estudian en la secundaria. La familia cuenta con los servicios básicos (señal para radio, televisión, celular y servicios de electricidad y salud), comentan que los problemas sanitarios en la familia son la gripe, en época lluviosa y la existencia de una persona con problemas de diabetes, los controlan con pastillas y jarabes, no los visitan brigadas médicas. El productor es quien toma las decisiones sobre el manejo del SAF y los hijos apoyan las labores de manejo,

según el productor no contrata niños, pero si mujeres porque son más cuidadosas con la planta y las especies frutales son para autoconsumo y venta.

El productor tiene 16 años de manejar la finca, 14 años de experiencia en el manejo del cultivo de café y 10 años de trabajar en café orgánico, además tiene 12 años de estar organizado en una cooperativa y considera estar satisfecho con su participación en ella (Anexo 1).

Características SAF con café

El cafetal está ubicado a 10 m en el costado noreste de la casa de habitación, en la falda de una loma, los surcos se localizan en dirección este – oeste perpendicular a la pendiente, la topografía del terreno es irregular con pendiente promedio de 29.04 % (Anexo 2).

El SAF se caracteriza por contener pocos árboles, pero de gran diámetro, los árboles presentes forman una sombra mixta en donde la mayoría son especies ya originarias del área antes de sembrarse el café, el suelo mayormente cubierto por hojarasca, suelo descubierto y unas pocas malezas, además se observaron algunas huellas de erosión provocadas por corrientes de agua durante la época lluviosa (Anexo 1). El SAF posee un suelo arcilloso con pH muy ligeramente ácido de 6.78 con una disponibilidad alta de N mineralizado de 82.31 kg ha⁻¹, disponibilidad baja de P con 20.06 kg ha⁻¹ y disponibilidad alta de K con 382.59 kg ha⁻¹ (ver anexo 19).

Según el productor los rendimientos en 2009, 2010 y 2011 no variaron mucho obteniendo 479.14, 479.14 y 511.08 kg ha⁻¹ pergamino, respectivamente. Según el productor, el precio de venta en 2011 fue de C\$ 2 500.00 por 45.45 kg café pergamino; para autoconsumo solamente dejan 36.36 kg al año (Anexo 1).

Caso Elías Rivas Sequeira

Características generales de la finca

Finca los Laureles, propiedad legalizada a nombre del señor Elías Rivas Sequeira (ERS), adquirió la propiedad hace 30 años con tan solo 5.62 ha, de ellas 0.35 estaban cultivadas con café; actualmente la finca cuenta con 8.43 ha distribuida con 1.05 ha de frutal, 2.81 ha con café lo que representa el 33.33 % de la propiedad mezclado con árboles de sombra, 1.05 ha con chile tabasco (*Capsicum frutescens*) de forma temporal, 2.46 ha con pasto *Brachiaria spp* y *Andropogon spp*, 0.35 ha de infraestructura y 0.71 ha de bosque. La finca presenta tres manantiales con agua y ninguno de ellos se ha secado en todo este tiempo, además se dispone de dos pilas. La topografía del terreno es irregular (Anexo 1).

Características del núcleo familiar

El núcleo familiar está compuesto de seis personas, dos son menores de edad, una estudia primaria y el otro, secundaria; los hijos son quienes llevan los registros y elaboran el plan de manejo junto con el productor. La familia cuenta con los servicios básicos (señal para radio, celular y servicios de electricidad y salud), las enfermedades más comunes son la fiebre, presión alta y gripe la que aparece entre julio y noviembre, las brigadas médicas los visitan. la vivienda es de zinc, paredes de madera y piso de tierra.

El productor tiene 30 años de manejar la finca, 30 años de experiencia en el manejo del cultivo de café, 10 años de trabajar en café orgánico y tiene 10 años de estar organizado en una cooperativa (Anexo 1). El productor es quien toma las decisiones sobre el manejo del SAF y los hijos apoyan las labores de manejo, según el productor no contrata niños ni mujeres y las especies frutales son para autoconsumo y venta.

Características SAF con café

El cafetal está ubicado a 30 m de la casa de habitación en un terreno con topografía irregular con una pendiente promedio de 45.3 %, los surcos se orientan en dirección norte sur y están establecidos en curvas a nivel perpendicular a la pendiente.

El SAF se caracteriza por presentar diversidad arbórea media con árboles de diámetro y altura bastante homogénea establecidos durante años, obteniendo sombra mixta en el SAF con café. Dentro de las especies se encuentran frutales como *Citrus sinensis* L. Osbeck y *Persea americana* Mill., de la venta de sus frutos obtiene ingresos extra al café.

El suelo se observó cubierto por hojarasca, grama, suelo descubierto y maleza de porte bajo que brinda un colchón amortiguador del proceso erosivo a pesar de la pendiente calculada en el agrosistema. El SAF posee un suelo arcilloso con pH medianamente ácido de 6.07 con una disponibilidad alta de N mineralizado de 56.66 kg ha⁻¹, disponibilidad pobre de P con 5.7 kg ha⁻¹ y disponibilidad alta de K con 658.01 kg ha⁻¹, (ver anexo 19).

5.1.2 Zona de altitud media

Caso Pascual Espinoza

Características de la finca y familia del productor

Finca los Chilamates, propiedad del señor Pascual Espinoza (PE), con 3.51 ha de las cuales 2.81 están establecidas con café lo que representa el 80 % de toda la propiedad, el restante es infraestructura, la condición de la vivienda es propia, construida con ladrillos, piso de tierra y techo de zinc, cuentan con un pozo y disponibilidad intermitente para uso doméstico, agrícola y pecuario.

Características del núcleo familiar

El productor cuenta con 15 años de poseer la finca y 12 años de trabajar en café orgánico; su familia está compuesta por cinco personas, tres de ellas son menores de edad. La familia dispone con los servicios básicos de energía eléctrica y salud, señal de celular y televisión, el productor tiene tres años de ser miembro de una cooperativa ejerciendo la función de coordinador y se siente satisfecho con su accionar dentro de la cooperativa (Cuadro 2). El productor es quien toma las decisiones sobre el manejo del SAF y los hijos no apoyan las labores de manejo pues están en edades menores a cinco años, según el productor no contrata niños, pero sí mujeres. Las especies frutales son para autoconsumo y venta.

Características SAF con café

El cafetal está ubicado a 55 m al Oeste de la casa de habitación habiendo una carretera de por medio, los surcos se localizan en dirección Este Oeste, la topografía del terreno es ondulada ligeramente con pendiente al costado norte y noroeste terminando en un riachuelo, la pendiente promedio del área del SAF es de 26.8 %.

El SAF PE se caracterizó por tener los árboles con menor altura promedio y segundo con menor diámetro promedio, la sombra fue mixta siendo la mayoría especies que con el transcurso de los años se han establecido para brindarle sombra al cafetal, el suelo mayormente cubierto por hojarasca y suelo desnudo, baja presencia de malezas (Anexo 1). El SAF posee un suelo arcilloso con pH medianamente ácido de 5.71 con una disponibilidad alta de N mineralizado de 89.4 kg ha⁻¹, disponibilidad pobre de P con 4.8 kg ha⁻¹ y disponibilidad alta de K con 290.16 kg ha⁻¹, (ver anexo 19).

Caso Remigio Espinoza

Características generales de la finca

Finca las Quebradas, propiedad del señor **Remigio Espinoza** (RE) adquirida en 1990 con apenas 2.81 ha donde había solamente cítricos y granos básicos. Actualmente cuenta con un área de 6.34 ha distribuida de la siguiente manera: 4.22 ha con café lo que representa un 66.5 % de la propiedad, de ellas 2.81 ha están mezcladas con naranjas, 0.18 ha con chile tabasco, 1.41 ha con pastos, 0.18 ha de infraestructura y 0.35 ha de maracuyá. La finca presenta una topografía ondulada (Anexo 1). La condición de la vivienda es propia y construida con piedra cantera, piso de tierra y techo de zinc, posee un pozo permanente y una quebrada, el pozo es para uso doméstico y la quebrada para uso agrícola.

Características del núcleo familiar

El núcleo familiar está conformado por 11 personas, cinco son menores de edad, entre los adultos son técnicos básicos agropecuarios y el menor está en sexto grado de primaria. La familia dispone de servicios básicos de energía eléctrica, salud, señal de televisión, radio y celular. El productor tiene 21 años de poseer la finca, 20 años de trabajar en café, 10 años de trabajar en café orgánico y es quien lleva el libro de registro y elabora el plan de manejo del cafetal, además participa en una organización cooperativa desde hace 13 años. El productor es quien toma las decisiones sobre el manejo del SAF y los hijos apoyan las labores de manejo; según el productor no contrata niños, pero sí mujeres. Las especies frutales son para venta y autoconsumo.

Características SAF con café

El cafetal está ubicado a 10 m en el costado noroeste de la casa de habitación, los surcos se localizan en dirección norte-sur perpendicular a la pendiente, la topografía del terreno es ondulada con pendiente promedio de 31.96 %. El SAF se caracteriza por contener el mayor

número de árboles por hectárea. El suelo cubierto mayormente por hojarasca; a lo largo del SAF se encuentra una depresión en el terreno en la parte central teniendo un efecto de caída de dos aguas, aunque se establecen obras de conservación de suelos como cultivo en curvas a nivel, barreras muertas técnica del saltin, (anexo 1).

El SAF posee un suelo arcilloso con pH fuertemente ácido de 5.44 con una disponibilidad alta de N mineralizado de 50.56 kg ha⁻¹, disponibilidad pobre de P con 0.79 kg ha⁻¹ y disponibilidad pobre de K con 110.92 kg ha⁻¹, (ver anexo 19).

Cuadro 2. Resumen de características de los sistemas agroforestales con café

Concepto	Característica	JM	ERS	PE	RE
Finca	Área de la finca (ha)	8.78	8.43	3.51	6.34
	Área café (ha)	2.81	2.81	2.81	4.22
Familia	Número de personas (unidad)	6/3*	6/2*	5/3*	11/5*
	Estudiados (unidad)	2s	1p, 1s	0	8tba, 1p
	Acceso a servicios básicos	Si	Si	Si	Si
	Experiencia del productor con café orgánico (años)	10	10	12	10
SAF	Densidad (plantas ha ⁻¹)	3 333	4 744	3 333	4 444
	Edad café (años)	8	30	10	13
	Variedades	Catuaí rojo y amarillo	Caturra y Pacas	Caturra, Bourbon y Catuaí	Caturra y Bourbon
	pH del suelo	6.78	6.07	5.71	5.44
	Pendiente del SAF (%)	29.04	45.3	26.8	31.96
	Textura de suelo	arcilloso	arcilloso	arcilloso	arcilloso
	Disponibilidad de N	Alto	Alto	Alto	Alto
	Disponibilidad de P	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre
Disponibilidad de K	Alto	Alto	Alto	Pobre	

*Menores de edad

5.2 Contribución del reciclaje al sistema agroforestal con café

5.2.1 Carbono almacenado por los árboles en los SAF con café ($t\ ha^{-1}\ C$)

La figura 3 muestra que el SAF que almacenó más carbono por los árboles fue ERS con $25.70\ t\ ha^{-1}\ C$, seguido por el SAF RE con $21.71\ t\ ha^{-1}\ C$, en tercer lugar, se ubicó el SAF PE con $8.51\ t\ ha^{-1}\ C$ y finalmente el SAF JM con $6.43\ t\ ha^{-1}\ C$. Es importante mencionar que el SAF ERS fue quien presentó el mayor número de árboles en categoría de maduro y el segundo en altura, diámetro promedio por árbol, árboles en categoría de fustal y densidad por hectárea, por su parte el SAF JM presentó los árboles con mayor altura y diámetro promedio, pero la menor densidad de árboles por hectárea.

Las familias vegetales que más aportaron carbono fueron Fabaceae ($10.91\ t\ ha^{-1}\ C$) de los cuales $7.95\ t\ ha^{-1}\ C$ corresponden al SAF ERS resaltando *Platimiscium pleiostachyum* y *Gliricidia sepium*; en segundo lugar, la familia Mimosaceae ($9.50\ t\ ha^{-1}\ C$) sobresaliendo la especie *Inga spp.* Con $9.4\ t\ ha^{-1}\ C$ de los cuales 4.83 encontrados en SAF RE y finalmente la familia Verbenaceae ($5.90\ t\ ha^{-1}\ C$) con *Lippia myriocephala* encontrándose ($3.06\ t\ ha^{-1}\ C$) en SAF ERS (anexo 3).

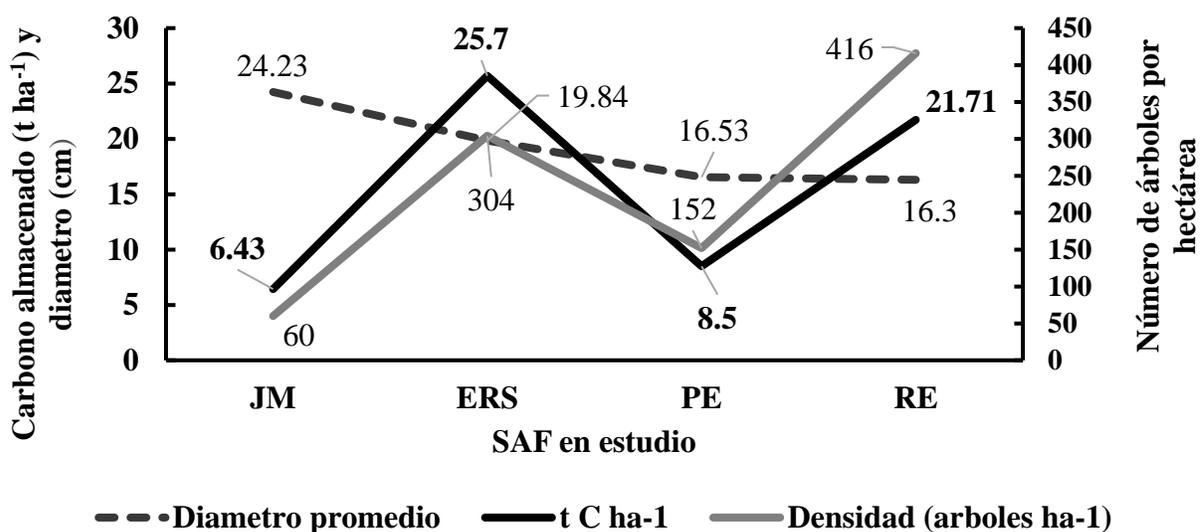


Figura 3. Carbono almacenado por árboles en SAF con café ($t\ ha^{-1}\ C$).

La densidad y edad de árboles de sombra en un cafetal están ligados a la cantidad de carbono almacenado por área. Medina, Calero, Hurtado y Vivas (2009) trabajando con 3 tipologías de sistemas agroforestales con café encontraron: café Pacamara con árboles jóvenes para sombra (tres - cuatro años), pero mayor densidad de árboles por hectárea (552 árboles ha⁻¹) y diámetro (ocho -16.8 cm); café *Catimor* con árboles de mayor edad (ocho - nueve años), mayor diámetro 13-42 cm), pero menor densidad (176 árboles ha⁻¹) y Catuaí con árboles con edades similares al anterior (9-10 años), pero densidad menor (155 árboles ha⁻¹), diámetro de árboles de 10-35 y 95-138 cm, aportando respectivamente 4.7, 15.23 y 6.63 t de carbono almacenado por hectárea (p.29 - 32).

Leiva (2011, p. 44) en su estudio en el Cuá, Nicaragua, “encontró densidades arbóreas de cafetales de 74 árboles ha⁻¹ en promedio, observando un comportamiento similar al presente estudio con relación a la dominancia de árboles en categoría de fustal”. Pico (2011, p. 47) afirma que “encontró valores de 29.42 t ha⁻¹ C en cafetales orgánicos en Turrialba – Potosí, Costa Rica con un promedio de 355 árboles ha⁻¹ mayores a cinco cm de DAP”.

Los tipos de especies arbóreas presentes en un sistema agroforestal con café son importantes en cuanto al carbono almacenado (Moraga, Bolaños, Pilz, Munguía, Jürgen, *et. al.*, 2011, p. 41, 46). La misma fuente sostiene que estos sistemas agroforestales captan hasta 20 veces más carbono (98.68 t ha⁻¹ C) que un café a pleno sol (4.48 t ha⁻¹ C) generando además beneficios extras después de la cosecha del café como extracción de leña, frutos, pagos por servicios ambientales, conservación de suelos, belleza escénica, hábitat faunística y florística y producción de oxígeno.

Connolly y Corea (2007, p.50) indican que “en su estudio obtuvieron volúmenes de carbono almacenado por los árboles de sombra de 15.82 t ha⁻¹ C argumentando que la altura y diámetro promedio de árboles son los factores que más inciden en estos resultados”. El mismo planteamiento sostiene Umanzor (2016, p. 30) afirmando que “las variables diámetro y altura son las de mayor relevancia en la cantidad de carbono almacenado por lo árboles de sombra sin dejar de mencionar al número de individuos por encima de los 30 cm de DAP y la densidad”.

Zapata (2019, p. 691) afirma que “encontró densidades arbóreas de 292 – 121 árboles por hectárea”.

Las contramedidas tomadas por los países y organizaciones ante la pandemia del Covid-19 están perturbando las iniciativas de fijación de precios del carbono en 2020, debido a que las transacciones económicas mundiales se han visto altamente afectadas. Los precios del carbono van desde 1 a 119 dólares americanos por tonelada de CO₂, lo que está en dependencia del mecanismo de pago convenido y políticas climáticas, sin embargo, el FMI (Fondo Monetario Internacional) calcula el precio promedio mundial de carbono en US\$2.00 por t CO₂. (World Bank Group, 2020, p. 18 y 21).

Los resultados encontrados concuerdan con lo planteado por Umanzor (2016), Leiva (2011) Medina *et. al.*, (2009) y Connolly y Corea (2007) quienes afirman que “los factores diámetro de árbol y densidad (árboles ha⁻¹) están estrechamente ligados a la cantidad de carbono almacenado por estos en un sistema agroforestal con café”. ERS con la segunda mayor densidad y diámetro promedio por árbol fue el SAF con mayor carbono almacenado, en cambio JM con el mayor diámetro promedio por árbol, pero con la menor densidad presentó la menor cantidad de carbono almacenado lo que reafirma lo antes planteado.

Basado en lo descrito por WBG (2020) los SAF ERS y JM con mayor y menor carbono almacenado podrían percibir por carbono almacenado en árboles entre 188.48 y 47.16 dólares por hectárea, según la relación de carbono y oxígeno de 3.667 y el precio de US\$2.00 tonelada de CO₂ planteada por FMI.

5.2.2 Carbono almacenado por arbustos de café en los SAF en estudio (t ha⁻¹ C)

En la figura cuatro se observa que, el SAF que almacenó más carbono fue RE (2.21 t), en segundo lugar, se ubica el SAF PE con 1.08 t, seguido por SAF JM (0.99 t) y finalmente el SAF

ERS con 0.61 t (anexo 4). Es importante mencionar que RE presentó el mayor diámetro promedio por planta (3.79 cm) el menor porcentaje de sombra (70.46 %) mientras que ERS presentó el menor diámetro promedio por planta (1.82 cm), el mayor porcentaje de sombra (91.26 %) y la mayor cantidad de fallas ha⁻¹ con (664 arbustos).

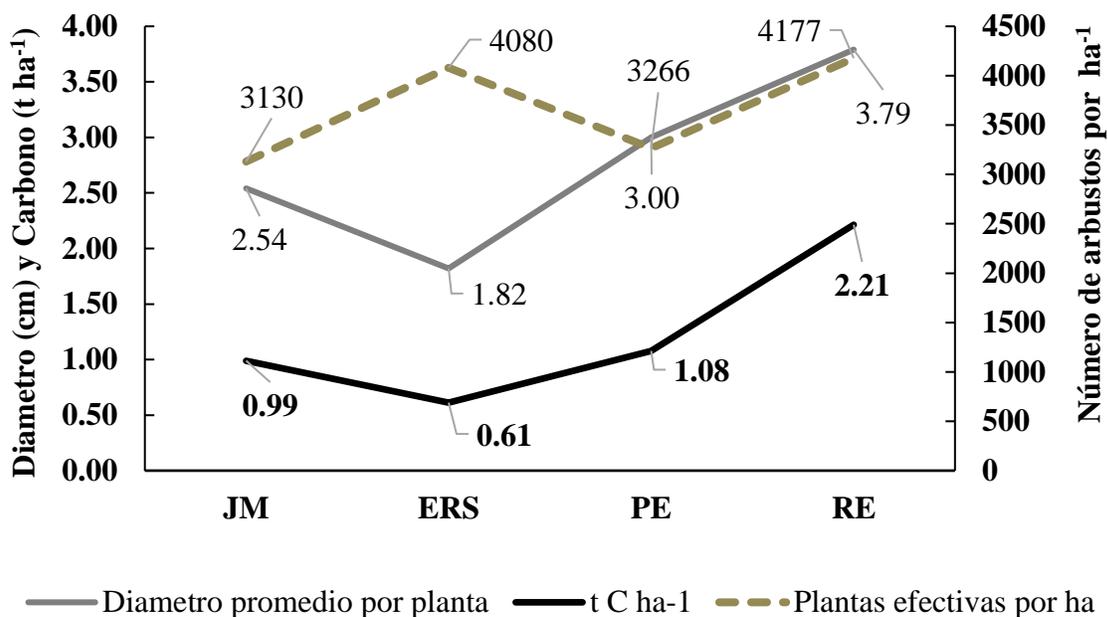


Figura 4. Carbono almacenado por arbustos de café en los SAF en estudio (t ha⁻¹ C).

Naturland (2019, p. 40) sostiene en su normativa de certificación que la densidad de plantación de los arbustos de café no debería superar los 5000 cafetos por hectárea. Por su parte Connolly y Corea (2007, p. 50) encontraron volúmenes de carbono por parte de los arbustos de café de 1.14 t ha⁻¹. Aristizabal (2011, p. 53) sostiene que arbustos de café de uno a cuatro metros de altura presentan biomasa de 0.36 – 3.18 kg por planta lo que correspondería a 0.18 y 1.59 kg carbono por planta.

Basados en las edades de los cafetos en los SAF en estudio (más de ocho años) y la densidad de plantas por hectárea (3 333 a 4 744) tendríamos volúmenes de 0.6 – 7.4 t de carbono almacenados por arbustos de café en una hectárea, la figura cuatro expresa que los resultados de este estudio estuvieron dentro del rango definido por Aristizabal.

Suárez (2002, p. 60) argumenta en base a correlación que DAP explica de mejor manera la biomasa comparada con la altura, razón por la cual es la variable que se ha utilizado en las ecuaciones alométricas. La altura de los árboles presenta menor correlación que DAP debido que estos son sometidos cada año a prácticas de poda no presentando un desarrollo normal.

Pico (2011, p.46) encontró aporte de carbono por parte de los arbustos de café orgánico de 1.78 t ha⁻¹ C superando a otros tipos de certificaciones como UTZ, Rainforest alliance, sistema de manejo convencional.

En los resultados de este estudio se obtuvieron 2.21 a 0.61 t ha⁻¹ de carbono almacenado por arbustos de café en un sistema agroforestal concordando con lo obtenido por Pico (2011), Aristizabal (2011) y Connolly y Corea (2007) quienes afirman que el diámetro promedio del arbusto y la densidad efectiva por hectárea son los factores principales de estos resultados, además de la edad la que se relaciona con el diámetro. Los dos SAF con menor carbono almacenado ERS y JM presentaron los menores diámetros promedio por arbusto lo que influyó en la cantidad de carbono almacenado.

5.2.3 Carbono almacenado por el mantillo en los SAF en estudio (t ha⁻¹ C)

La figura cinco indica que, el SAF con mayor aporte de carbono por parte del mantillo fue JM (6.61 t ha⁻¹ C) seguido del SAF RE (6.47 t ha⁻¹ C) en tercer lugar se ubica el SAF PE (5.96 t ha⁻¹ C) y finalmente el SAF ERS con 5.81 t ha⁻¹ C, (anexo 5 y 6).

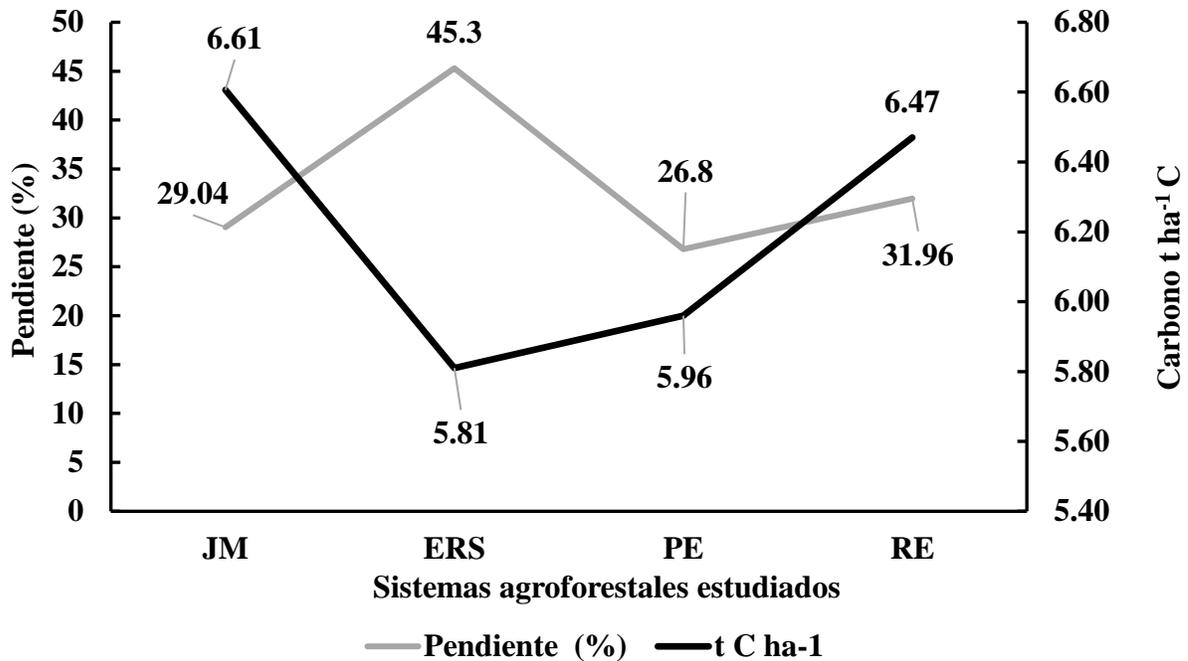


Figura 5. Carbono almacenado por el mantillo en los SAF en estudio (t ha⁻¹ C).

Pérez, Valdez y Ordaz (2012, p. 53) afirman que “un SAF con un dosel vegetal alto no disminuye las pérdidas de suelo por erosión hídrica, siendo el SAF ERS quien presentó los árboles más altos en promedio después del SF JM”.

Aguilar (2005, p. 50) plantea que “conocer la descomposición y mineralización de los residuos vegetales en el suelo en sistemas agroforestales con café puede contribuir a su manejo”. Además, puede generar beneficios diversos como reducir el impacto de la lluvia para reducir la erosión del suelo, mejorar la fertilidad del suelo a través del reciclaje y consecuentemente disminuir el uso de productos químicos.

Medina, Pérez y Ruiz, (2008, p.36) afirman que los aportes de carbono almacenado por hojarasca al suelo están en un rango de 1.7 a 0.97 t ha⁻¹ argumentando que las especies de sombra son las que mayor aporte realizan a la hojarasca del suelo comparada con el cafeto. Y que además los aportes dependen de la densidad, edad de las especies, las especies como tal y manejo

del sistema por el productor. Por su parte Connolly y Corea (2007) encontraron en su estudio aportes de carbono por parte de la hojarasca en sistema de café ecoforestal de $0.76 \text{ t ha}^{-1} \text{ C}$ (p. 50).

Los resultados del SAF ERS se atribuyen en primera instancia a la edad de su cafetal (30 años) con escasa producción de biomasa requiriendo renovación, mientras que los otros tres SAF presentan un cafetal más joven ocho - 13 años, el efecto de la pendiente mayor al 45 % se considera está influyendo en período lluvioso con el lavado de mantillo hacia las partes bajas de la propiedad y el género arbóreo predominante (*Swietenia*) que produce menor cantidad de biomasa comparada con las leguminosas como plantea Centeno y Herrera (2005, p. 22).

Los valores encontrados en esta investigación son superiores a los reportados por Medina *et. al.*, (2008) y Connolly y Corea (2007) obteniendo JM la mayor cantidad de carbono almacenado por el mantillo (6.61 t ha^{-1}) con árboles para sombra (predominando *Guazuma ulmifolia* y *Platymiscium pleiostachium*) y arbustos de café con mayor altura, café más joven (ocho años) y segunda menor pendiente del terreno (29.04 %), lo que se considera influyó en los resultados obtenidos no así el SAF ERS con el menor volumen de carbono almacenado por mantillo (5.85 t ha^{-1}) quien presentó la menor altura de arbustos de café, cafetal más viejo (30 años) y la mayor pendiente (45.3 %) con predominancia de árboles de *Swietenia humilis* y *Platymiscium pleiostachium*.

Se coincide con Medina *et. al.*, (2008) en que estos resultados son producto de la edad de las especies, manejo del productor y en menor incidencia la densidad de plantas por hectárea, pero además se considera que la pendiente del terreno juega un rol importante en estos resultados sobre todo con la posible pérdida de mantillo durante la época lluviosa.

5.2.4 Carbono almacenado por el suelo en los SAF en estudio ($t\ ha^{-1}\ C$)

La figura seis muestra que, el SAF con mayor aporte de carbono por parte del suelo fue PE ($103.68\ t\ ha^{-1}\ C$) seguido por el SAF JM ($95.48\ t\ ha^{-1}\ C$), en tercer lugar, el SAF ERS ($65.66\ t\ ha^{-1}\ C$) y finalmente el SAF RE $58.62\ (t\ ha^{-1}\ C)$ (anexo 7). La densidad aparente y el carbono orgánico en el suelo definen los aportes de carbono al sistema agroforestal.

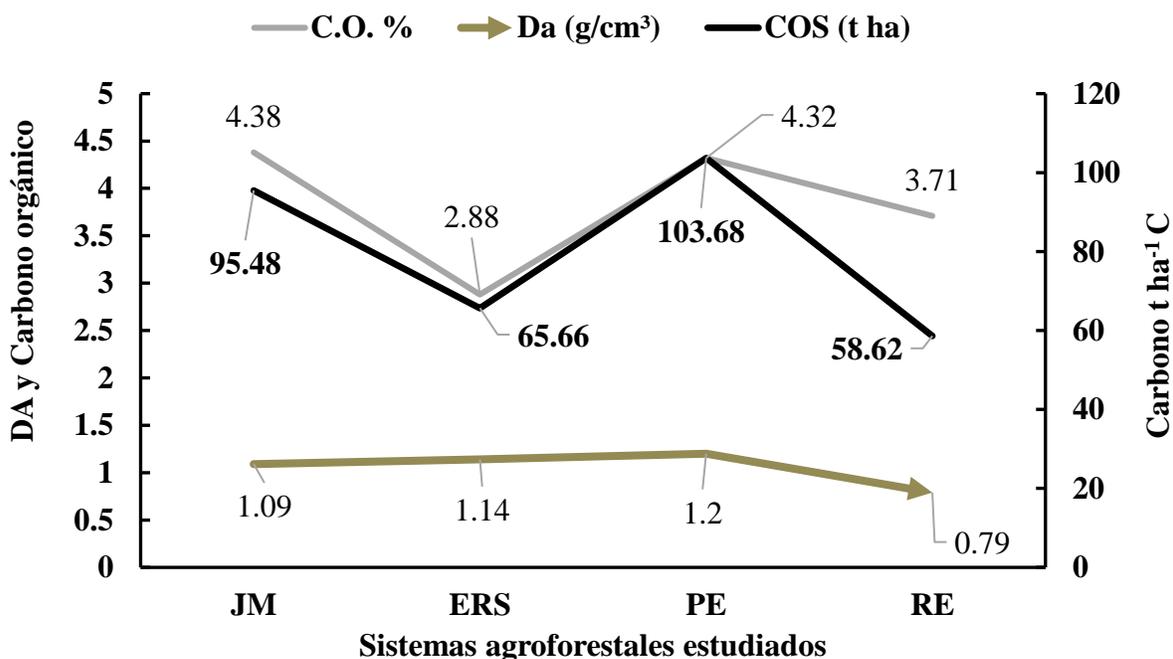


Figura 6. Carbono almacenado por el suelo en los SAF en estudio ($t\ ha^{-1}\ C$).

Medina, Pérez y Ruiz, (2008, p.37) “encontraron más carbono en el suelo de cafetales de mayor edad y a 10 y 20 cm de profundidad, resultando que a 0 - 20 cm se encontró el 73-77 % del total de carbono medido hasta los 30 cm”; lo que indica que el movimiento del humus en el perfil del suelo es de arriba hacia abajo. La cantidad de carbono en el suelo puede estar relacionada con aporte de hojarasca y su velocidad de descomposición, tipo de suelo, obras de conservación de suelos, cambio de uso del suelo, drenaje, lluvia, temperatura y manejo del suelo por el productor.

Los autores encontraron un rango de 74.24 a 56.75 t carbono almacenado en el suelo a una profundidad de 20 cm.

Larios, Salmerón y García (2014, p. 67), plantean que las prácticas agroecológicas en plantaciones con café propician un suelo con menor densidad aparente (DA) y valores mayores de carbono orgánico. Connolly y Corea (2007) encontraron en el suelo cantidades de 142.78 t ha⁻¹ C a una profundidad de muestreo de 30 cm planteando que la profundidad del muestreo puede incidir en los resultados, los mismos autores citando a Dixon (1995) indica que en sistemas agroforestales el carbono en el suelo va de 12 – 228 t ha⁻¹ C (p. 51).

Basados en los resultados obtenidos en carbono almacenado en el suelo, el presente estudio concuerda con Medina (2008) en que estos resultados pueden estar relacionados con el manejo del suelo por el productor en lo que concierne a presencia de volúmenes de mantillo sobre el suelo y su velocidad de descomposición, obras de conservación de suelos, podas) profundidad a la cual se tomó la muestra, pero también se debe considerar la densidad del suelo, porcentaje de carbono orgánico presente en él (anexo 19).

Al igual que se concuerda con Larios *et. al.*, (2014) en que la baja densidad aparente es un indicador del probable manejo agroecológico aplicado en el agroecosistema, pero no se coincide en que esto conlleva a valores mayores de carbono orgánico según los resultados de este estudio. Los valores encontrados son ligeramente superiores a los descritos por Medina *et. al.*, (2008) y están en el rango presentado por Connolly (2008) cuando cita a Dixon (1995).

5.2.5 Contribución total del reciclaje al SAF con café (t ha⁻¹ C)

En términos generales la mayor fuente de carbono almacenado por hectárea en los cuatro SAF en estudio fue el suelo con 80.86 t en promedio, seguido del aporte de los árboles 15.58 t en promedio y el mantillo con 6.21 t en promedio y finaliza el aporte de los arbustos de café con

1.22 t ha⁻¹ C en promedio. El SAF PE es quien más carbono almacena gracias al aporte brindado por el suelo (cuadro tres).

Cuadro 3. Contribución total del reciclaje al sistema agroforestal con café (t ha⁻¹ C)

Productor/fuente	JM	ERS	PE	RE	Promedio (t ha ⁻¹ C)
Suelo	95.48	65.66	103.68	58.62	80.86
Árboles	6.43	25.70	8.50	21.71	15.58
Mantillo	6.61	5.81	5.96	6.47	6.21
Café	0.99	0.61	1.08	2.21	1.22
Total t ha ⁻¹ C	109.51	97.78	119.22	89.01	103.88

Según Medina *et. al.*, (2009, p.32 y 33) los árboles de sombra son la segunda fuente de carbono después del suelo en sistemas agroforestales con café y los arbustos de café el último lugar. El valor agregado por servicios ambientales en concepto de almacenamiento de carbono son un atractivo económico y ecológico para los productores de café con sombra, finalmente sostienen que la biomasa y contenido de carbono está influenciado por la edad, densidad y especies de árboles de sombra y cafeto.

Similar resultado obtuvo Connolly y Corea (2007, p. 52) según aportes de árboles, arbustos de café a excepción de mantillo (0.76) y el aporte de suelo (142.78 t) a 30 cm de profundidad del suelo. Citando a Birdsey (1992), Aristizabal (2011, p. 50) sostiene que “en la distribución del carbono en el agroecosistema el suelo representa más del 60% del total, seguido de la biomasa aérea con un 30 % y en último lugar la necromasa con un 10%”.

Los aportes de carbono almacenado por el suelo (80.86 t ha⁻¹ C) fueron resultado del carbono orgánico determinado en él y de su densidad aparente (DA), en cambio el aporte de carbono por los árboles (15.58 t ha⁻¹ C) se considera fue conferido a su abundancia y diámetro a la altura del pecho, el aporte de mantillo (6.24 t ha⁻¹ C) debido al volumen aportado en materia seca y finalmente el aporte de los arbustos de café (1.22 t ha⁻¹ C) posiblemente por su abundancia, diámetro y edad.

5.2.6 Aporte nutritivo de la Biomasa al suelo del SAF (kg ha⁻¹)

En el cuadro cuatro se observa que el SAF RE presentó los mayores valores de nitrógeno total con 199.18 kg ha⁻¹ seguido en orden descendente por los SAF PE, ERS y JM con (183.46, 167.46 y 166.47 kg ha⁻¹ respectivamente), en el caso del fósforo quien obtuvo los mayores valores fue el SAF PE con 8.34 kg ha⁻¹ seguido en orden decreciente por JM, ERS y RE con (7.93, 6.98 y 6.47 kg ha⁻¹ respectivamente) y en el caso del potasio el SAF con el mayor valor fue ERS con 80.24 kg ha⁻¹ seguido en orden decreciente por JM, RE y PE con (44.92, 41.39 y 30.97 kg ha⁻¹).

El análisis se realizó en laboratorio de suelos y aguas de la Universidad Nacional Agraria aplicando el método de análisis para nitrógeno (A.O.A.C. 975.03), para fósforo (A.O.A.C. 978.04) y para potasio (A.O.A.C. 958.01) de los métodos de análisis oficial de la A.O.A.C. Internacional, 20 ed., (2016).

Cuadro 4. Aporte nutritivo de la biomasa al suelo del SAF (kg ha⁻¹)

SAF	P.s. (kg ha ⁻¹)	Nt	P	K	Promedio
JM	13 211.73	166.47	7.93	44.92	95.92
ERS	11 629.42	167.46	6.98	80.24	96.99
PE	11 913.17	183.46	8.34	30.97	79.58
RE	12 933.72	199.18	6.47	41.39	106.57
Promedio	12 422.01	179.14	7.43	49.38	

P. s.: peso seco

Centeno y Herrera (2005, p. 24 y 23) en su trabajo de investigación bajo dos tipos de sombra (leguminosas y no leguminosas) “encontró aportes de N, P, K en kg ha⁻¹ de (1 17.03, 2.81 y 16.85) y (71.64, 1.5, 40.30) respectivamente, mencionando además que la tasa de descomposición y mineralización de la biomasa es relevante en los aportes nutritivos al suelo”. Y que también depende otros factores como el tipo de plantas, clima, edad de los tejidos, entre otros. También comentan que durante la descomposición de residuos vegetales y abonos orgánicos resulta en humus al 5 % de nitrógeno.

Munguía, Hagggar, Ponce (2010) afirman que “en un SAF con café orgánico se beneficia la masa microbiana por los aportes de biomasa que influyen en el pH, la capacidad de intercambio catiónico y la mineralización del nitrógeno”. Además, este último beneficiado además por el no uso de agroquímicos en el manejo de plagas y malezas que podrían afectar la masa microbiana.

El nitrógeno y potasio son elementos con mayor movilidad en el suelo que el fósforo, por tanto son mayormente utilizados por las plantas (café y árboles) aunque parte de estos son reingresados al suelo de forma natural y por el manejo del productor, debemos resaltar además que la poda de árboles de sombra cada año aporta biomasa y carbono al suelo, pero también significa extracción de leña fuera del sistema, además de la cosecha por tanto es importante el balance sobre todo de los macronutrientes (p. 8 - 11)

Altamirano (2005, p. 22, 24 y 31) obtuvo valores de N, P y K de 148.59, 8.06 y 73.29 kg ha⁻¹ respectivamente en diferentes sistemas de producción de café. El mismo autor citando a Áreas y Molina (2000) y Bornemisza (1982) relata que la variedad Catuaí necesita 15 kg ha⁻¹ de fósforo para producir 2 116 kg ha⁻¹ de café y 90 - 120 kg ha⁻¹ de nitrógeno para producir 1 800 kg ha⁻¹ de café.

Según Moran y Benavides (2015, p. 30, 29) los contenidos de N y materia orgánica en el suelo está relacionada con la altitud del terreno. Los mismos autores citando a Sánchez *et. al.*, (2006) comentan que el contenido y la composición de la materia orgánica, así como la actividad biológica está influenciado por la altitud la que a su vez está relacionada a diferencias en la vegetación, temperaturas, humedad, precipitación y características del suelo.

Morán y Benavides (2015) relacionan los aportes de nitrógeno a la altitud. Larios *et. al.*, (2014) afirman que en cafetales donde se realizan prácticas agroecológicas se presentan mayores valores de nitrógeno total, materia orgánica, CIC y pH del suelo. Huarauya (2014, p.24) citando a Castañeda 1997, plantea que para una producción de 909 kg ha⁻¹ de café se necesitan 112, 18

y 125 kg de N, P y K, donde la floración y llenado de frutos son las etapas de mayor demanda de nutrientes por parte de la planta. Para que estos procesos fisiológicos tengan éxito las condiciones ambientales deben contribuir a ello.

Los valores resultantes en este trabajo (N: 199.18 a 166.47; P: 8.34 a 6.47; K: 80.24 a 30.97) son superiores a los reportados por Centeno y Herrera (2005) y Altamirano (2005) y similares los niveles de fósforo con este último autor. Se coincide con Munguía *et. al.*, (2010) y Centeno y Herrera (2005) en que los resultados tienen relación directa con el tipo de especies arriba del suelo y volumen de biomasa aportado.

Como menciona Larios (2014) y Munguía *et. al.*, (2010) otros elementos a considerar son el manejo y prácticas agroecológicas que realizan los productores entendiéndose como podas, extracción de leña, aporte de enmiendas orgánicas y producción lo que indica un dinámico ingreso y egreso de materia en el agroecosistema.

En los SAF de altitud media (PE y RE) predomina el aporte de Nitrógeno (199.78 y 185.41 kg ha⁻¹) posiblemente por el clima específicamente la temperatura y la humedad, mientras que en los SAF de zonas bajas destaca el aporte de bases como: K, Ca, Mg (anexo ocho). Los SAF de baja altitud se caracterizan por mantener niveles relativos mayores de bases comparados con los SAF de altitud media, lo que podría también ser el resultado de un clima con menor humedad.

El SAF RE es quien presenta la mayor abundancia de árboles (416 individuos ha⁻¹) la mayor cantidad de leguminosas por hectárea 124 individuos y los mayores valores de nitrógeno, sin embargo, ERS ostenta el segundo lugar en abundancia arbórea y leguminosas con 96 individuos ha⁻¹ pero también presenta el menor volumen de biomasa seca en el suelo y un 70 % de árboles no leguminosos.

5.3 Diversidad

5.3.1 Diversidad arbórea utilizando el índice de Shannon – Wiener

En el cuadro cinco, se observa que el SAF ERS fue quien obtuvo el mayor índice de diversidad con ($H' = 2.53$) seguido por el SAF PE ($H' = 2.34$), en tercer lugar, se ubicó el SAF RE ($H' = 2.21$) y finalmente el SAF JM ($H' = 2.08$). La riqueza específica, equitatividad (Simpson 1-D) al igual que la dominancia (Dominance_D) y la abundancia ejercen algún efecto sobre el índice de diversidad (Anexo 9 y 10).

De las 19 familias encontradas en los cuatro SAF bajo estudio se registraron 30 especies siendo las más frecuentes *Inga spp* con 168 individuos, de los cuales RE contiene 112, *Psidium guajaba* con 116 individuos de los cuales RE contiene 100 individuos, *Swietenia humilis* con 76 individuos de los cuales ERS posee su totalidad y en menores valores se ubica *Lippia* y *Cordia* con 56 individuos distribuidos entre los cuatro SAF (Anexo 10).

Cuadro 5. Diversidad arbórea utilizando el índice de Shannon – Wiener en SAF con café

Características biológicas	JM	ERS	PE	RE
Taxa_S	9	18	12	15
Individuals	15	76	38	104
Dominance_D	0.14	0.11	0.11	0.16
Simpson_1-D	0.86	0.89	0.89	0.84
Shannon_H	2.08	2.53	2.34	2.21

Centeno y Herrera (2005, p.14) afirman que la poca diversidad arbórea en la finca perjudica económicamente al productor lo que no le permitiría obtener productos derivados como madera, leña, frutas, entre otros. Los mismos autores citando a diversas fuentes comentan que *Citrus sinensis* y *Persea americana* son dos especies frutales que funcionan como árboles de sombra en cafetales y que además contribuyen generando ingresos económicos a la sostenibilidad de la

unidad productiva y aporte nutritivo a la dieta familiar coincidiendo con la presencia de *P. americana* en SAF ERS y la presencia de *C. sinensis* en SAF RE (p. 16).

La certificadora Naturland entre sus normas demanda que un sistema agroforestal con café orgánico posea por lo menos 70 árboles de sombra por hectárea y al menos 12 especies y que la especie dominante no debería superar el 60 % del total de individuos con el propósito de lograr beneficios ecológicos y sostenibilidad económica promoviendo la diversidad arbórea (Naturland, 2019, p. 40). Villavicencio y Valdez (2003) encontraron un “índice de Shannon arbóreo en café bajo sombra de 3.16 y una riqueza de 62, el dato encontrado se atribuye a la distribución más o menos equitativa de las especies superado ligeramente por un sistema de selva mediana subperennifolia” (p. 417, 420 y 422).

Pérez, Valdés y Ordaz (2012) evaluando dos sistemas agroforestales con café encontraron valores de Shannon de 2.47 y 2.54 cuya diferencia se debió al mayor número de especies en uno de los SAF producto de la diversificación con plantas de uso múltiple como maderable, para sombra y frutal (p. 252 y 253).

El rango de los resultados encontrados en esta investigación ($H' = 2.53$ a 2.08) son inferiores a los encontrados por Pérez *et. al.*, (2012) y Villavicencio y Valdés (2003) quienes atribuyen directamente sus resultados a factores como riqueza específica y distribución más o menos equitativa entre las especies.

En base a los datos de este trabajo el SAF ERS obtuvo el mayor índice de Shannon con 2.53 atribuido a la mayor riqueza específica, al mismo tiempo fue el segundo en mayor abundancia y menor dominancia, Mientras que el SAF JM con el menor índice de Shannon con 2.08 obtuvo la menor riqueza y abundancia y la segunda mayor dominancia de los cuatro SAF estudiados; RE con la mayor abundancia y segundo en riqueza (15 especies), pero con la mayor dominancia donde los (géneros *Inga* y *Psidium* representan el 53.86 % del total) lo que indica que unas pocas especies dominando sobre las demás.

Alto número de especies distribuidas equilibradamente inciden positivamente en el índice de diversidad. Shannon varía de 0.5 a cinco, se considera normal un valor de dos a tres; menos de dos es bajo y más de tres es alto en diversidad. El valor máximo y mínimo calculado en los cuatro agroecosistemas es 2.54 y 2.08 respectivamente, por lo tanto, se consideran normales.

5.3.2 Diversidad de artrópodos (m^{-2}) en el suelo a nivel de órdenes y Subfilum

De los cinco órdenes encontrados Coleóptera fue el más representativo con 96 individuos m^2 representada en siete familias entre las cuales se destacan Scarabaeidae con *Phyllophaga spp* (40 individuos), Lampiridae con *Aspisma spp* (luciérnaga) 16 individuos y Tenebrionidae con *Epitragus spp* (falso gusano alambre) 12 individuos; también se destaca el orden Hymenoptera con una única familia Formicidae siendo el género *Atta* el único representante con 28 individuos y el orden Hemiptera con 20 individuos representados en tres familias entre las que se destaca Pentatomidae con *Euchistus spp*. Chinche hedionda (ocho individuos), Hemiptera Cicadidae *Diceroprocta spp*. (chicharra) y Coreidae *Leptoglossus zonatus* (chinche pata de hoja).

También se destacó el subfilum Chelicerata con la clase Arachnida con 28 individuos con similar distribución en los cuatro SAF estudiados y finalmente el Subfilum Myriapoda con 12 individuos con ocho chilopodas (cien pies) y cuatro Diplopodos (mil pies) en los SAF de altitud media. (Anexo 11).

El SAF que presentó la mayor abundancia fue PE con 64 individuos m^2 seguido en orden descendente por el SAF JM, ERS y RE con 52, 40 y 40 individuos m^2 respectivamente, al mismo tiempo RE fue quien presentó el mayor número de órdenes y subfilum con seis, seguido de PE con cinco y los dos SAF restante con cuatro grupos taxonómicos cada uno, sin embargo el SAF que presentó la mayor diversidad a nivel de géneros fue JM con 10 de los 14 encontrados, destacándose la presentación de seis de las siete familias de Coleópteros. Los SAF de altitud

media son quienes presentaron el mayor número de órdenes y subfilum comparados con los de altitud baja (figura siete).

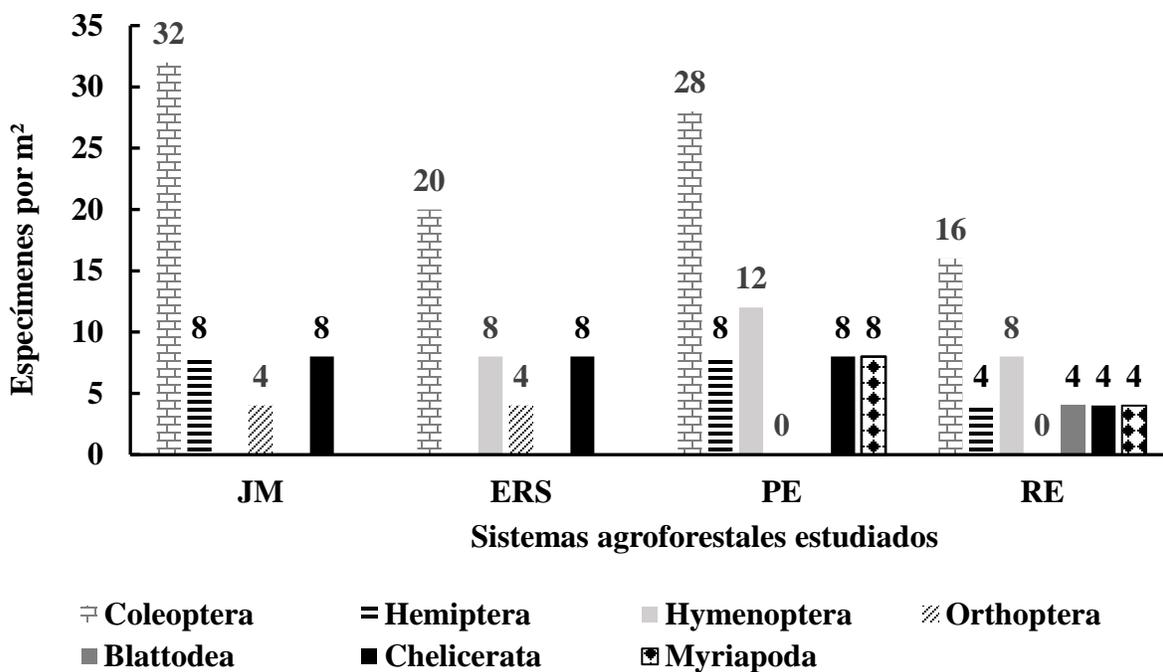


Figura 7. Diversidad de artrópodos presentes en el suelo a nivel de órdenes y subfilum en SAF con café (m²).

Vargas y Laguna (2017) evaluando la macrofauna del suelo sobre el diseño y manejo del agroecosistema destacaron la presencia de los órdenes Haplotaxida, Isoptera, Hymenoptera, Coleoptera y Hemiptera; dentro de ellos las familias Lumbricidae (363 individuos por finca), Rhinotermitidae (108), Scarabidae (44) y Formicidae (84) ubicando a las tres primera familias en el rol de detritívoros, sin embargo Scarabidae también puede comportarse como fitófago y depredador según el tamaño de su población, finalmente Formicidae cumple funciones de depredador y omnívoro.

Los mismos autores sostienen que, la época lluviosa, la alta diversidad de especies vegetales y material de residuos sobre el suelo debido a las prácticas de manejo (chapias, podas) favorecen la actividad de organismos en el suelo sobre todo en agroecosistemas que presentan una transición hacia bases agroecológicas de manejo (p. 6, 17, 18, 21 y 22).

García y Barrera (2019) estudiando tres tipos de agroecosistemas encontraron en café orgánico mayores poblaciones de artrópodos (1 982 individuos m⁻²) duplicando y quintuplicando la abundancia de los otros dos sistemas (mixto 748 y convencional 483 individuos m⁻²), con alta presencia de *Arachnidos*, *Myriapodos* y *Formycidos*. Los autores afirman que los sistemas agroforestales con café presentan alta funcionalidad en generación de biomasa, lo que influye en la dinámica de las poblaciones de artrópodos, así como también el manejo antrópico sobre todo por los insumos utilizados (p. 44 y 48)

Las relaciones interespecíficas entre los artrópodos del suelo en los cafetales, los microorganismos y las acciones antrópicas resultan en procesos de descomposición de la biomasa influyendo finalmente en la relación C/N. Argüello (2017, p. 63) sostiene que “la gallina ciega (*Phyllophaga spp.*) es la plaga de suelo predominante en cultivos de Centroamérica”.

Rueda y Varela (2016, p.401) en su estudio de edafofauna entre un bosque y un cafetal encontraron densidades promedio de fauna de 425 y 900 individuos por metro cuadrado, encontrando entre los grupos más representativos a partir del tercer lugar *coleópteras*, *Hymenoptera*, larvas de díptera y diplopoda, entre otros.

Huarauya (2014) investigando la macrofauna en suelos cafetaleros de diferentes edades de establecimiento (1 a 10 años) y 3 profundidades del suelo (0-10, 10-20 y 20-30 cm) con variedades Caturra y Catimor encontró densidades de macrofauna de 391.5 – 73.6 individuos m⁻²) además sostiene que la densidad de macrofauna presentó una correlación positiva con el tiempo de establecimiento del café por la presencia de mayor hojarasca y una correlación negativa con la profundidad del suelo que a menor profundidad mayor densidad, también menciona que en las áreas estudiadas encontró mayor número de coleópteros (p. 48, 51, 54).

Las densidades individuos m^{-2} de artrópodos en el cafetal reportados por Barrera (2019), Vargas y Laguna (2017) y García y Huarauya (2014) son superiores a los encontrados en este estudio, sin embargo los órdenes y familias encontradas son similares entre los que podemos mencionar los órdenes con mayor frecuencia fueron *Coleoptera*, *Hymenoptera*, *Hemiptera* y las familias *Scarabidae* cuyos especímenes encontrados pueden cumplir funciones detritívoras, fitófagos y depredadores según tamaño de la población.

En los SAF JM, ERS, PE y RE se encontró 16, 12, 20, 8 artrópodos plaga por metro cuadrado representados por los géneros *Phyllophaga*, *Diabrotica*, *Deloyala*, *Diceroprocta* y *Leptoglossus*; mientras que el número de artrópodos benéficos encontrados por metro cuadrado fueron 24, 28, 40, 16, representados por los géneros *Epitragus*, *Aspisoma*, *Calosoma*, *Creophilus*, *Atta*, *Acheta* y familias *Acrididae*, *Blattidae*, clase *Arachnidae*, *Chilapoda* y *Diplopoda* cumpliendo funciones detritívoras, depredadores y descomponedores. Por su parte *Conoderus* (*Coleoptera*), *Proxys* y *Euchistus* (chinchas) cumplen las funciones de plaga y depredador con ocho, cero, cuatro y cuatro individuos por metro cuadrado.

Los SAF JM y PE son considerados los más diversos en relación a la presencia de artrópodos en el suelo, ambos con la mayor abundancia de organismos (52 y 64 individuos m^{-2}) al igual que número de géneros (10 y 9) estos resultados podrían estar relacionados con la pendiente (29.04 y 26.8 %) y la biomasa en el suelo siendo estos SAF los que presentaron el primer y tercer mayor volumen (13.21 y 11.91 $t\ ha^{-1}$) y segundo y tercero en porcentaje de sombra dentro del cafetal facilitando condiciones de humedad, alimento y refugio a estos organismos.

5.3.3 Presencia de microorganismos en el suelo a nivel de género (hongos, bacterias y nemátodos)

En el cuadro seis, se indica que de los cuatro SAF en estudio, PE es quien presentó la mayor diversidad de microorganismos en el suelo con siete géneros (tres tipos de hongos, dos tipos de bacterias y dos tipos de nemátodos) seguidamente se ubica el SAF RE con cinco géneros (dos

tipos de hongos, dos tipos de bacterias y un tipo de nematodo) ambos de zona de altitud media. En tercera posición, se ubica el SAF JM con cuatro géneros y ERS con tres géneros, ambos de zona de altitud baja. Los microorganismos más comunes de acuerdo con su presencia son *Aspergillus spp.*, *Bacillus spp.* y el nematodo *Helycotilenchus spp.*, presentes en los cuatro SAF.

El SAF PE siendo el más diverso es quien presenta mayor cantidad de fitopatógenos causantes de marchitamientos (*Pythium*, *Rhizoctonia*, *Fusarium*) sobre todo en estado de plántulas y nemátodo agallador *Helycotilenchus* y *Meloidogyne spp.* En cambio, el SAF RE presentó mayor cantidad de géneros que se utilizan como controladores biológicos de hongos y nemátodos (*Trichoderma*, *Streptomyces* y *Bacillus*). En el SAF JM se encontró la bacteria *Serratia* la cual puede degradar 2,4 D (Gómez de Jesús, 2018, p.122) y ocasionar problemas de salud en humanos (Escobar y COL, 2001. Citado por Ruiz, Sánchez *et. al.*, 2003. p.32).

Cuadro 6. Presencia de microorganismos en el suelo a nivel de género (hongos, bacterias y nemátodos)

Micro organismo	Géneros	JM	ERS	PE	RE	Función en el suelo
Hongos	<i>Aspergillus spp.</i>	X	X	X		*Descomponedor • Hongo de almacén
	<i>Pythium spp.</i>			X		Fitopatógeno
	<i>Rhizoctonia spp.</i>			X	X	*Fitopatógeno
	<i>Fusarium</i>				X	*Fitopatógeno
	<i>Trichoderma</i>				X	*Antagonista de hongos
Bacterias	<i>Bacillus spp.</i>	X		X	X	• Antagónico de hongos y <i>Meloidogyne</i> @Biocontrol sobre hongos fitopatógenos y promueve crecimiento vegetal
	<i>Streptomyces</i>				X	© Patógeno humano
	<i>Sarcina spp.</i>			X		Rizobacteria promotora del crecimiento vegetal
	<i>Serratia spp.</i>	X				
Nematodo (N° en 200 g de suelo)	<i>Helycotilechus spp.</i>	5	25	5		Fitopatógeno

<i>Meloidogyne spp.</i>	5	0	15	Fitopatígeno
	<ul style="list-style-type: none"> • Agrios, 2005, p. 194 y 281; *Lab. Microbiología y Fitopatología UNA; @Franco-Correa, M. (2009, p. 240); © Oddo & Díaz, 2019, p. 42; ©Moreno, 2018, p. 69 			

Larios *et. al.*, (2014, p. 72) plantean que en cafetales donde se realizan prácticas agroecológicas como aportes de enmiendas orgánicas más aportes de material vegetal aumenta el sustrato orgánico propiciando mayor actividad de las poblaciones bacterianas, los mismos autores citando a Cupull *et. al.*, (2007) sostienen que la aplicación de materia orgánica en tiempos de época seca aumenta las poblaciones de bacterias por la humedad que esta propicia, esto está relacionado con los niveles de carbono y nitrógeno en el suelo.

Por su parte los hongos presentan mayor actividad en periodos húmedos por la presencia de agua y descomposición de enmiendas orgánicas y material vegetal, al aumentar la mineralización de la materia orgánica también aumenta la población de hongos (p. 73).

George (2006, p. 40 y 41) en su estudio encontró mayor presencia de *Helicotylenchus spp.* en cafetales con manejo convencional que con manejo orgánico con valores promedio de 5.54 y 5 individuos 100 g⁻¹ de suelo, respectivamente. El mismo autor encontró en el suelo mayor presencia del hongo *Trichoderma* en época seca que en época lluviosa (p. 48)

García (2012) estudiando cuatro sistemas de producción con café encontró 9 -17 individuos de *Helicotylenchus* y 88-96 individuos de *Meloidogyne* en una muestra de 250 g de suelo, además comenta que entre mayor diversidad de cultivos hay menor población de *Meloidogyne* y que a mayor hojarasca sobre el suelo habrá mayor población, también comenta que al aumentar el pH del suelo disminuyen los nemátodos (p. 41, 53, 63)

Gómez y Corlay (2014) sostienen que “las bacterias prefieren pH cercano al neutro por tanto su presencia en el suelo depende de los elementos como labores de manejo, humedad, temperatura, volumen de material orgánico e interacción con otros organismos del sistema”. Sin embargo,

los géneros más abundantes en el suelo son *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Sarcina* y *Streptomyces* (p. 39 - 42).

Lara y Ferrera (2014) comentan que algunas bacterias presentan antagonismo con otros organismos entre ellos podemos referir a la bacteria *Bacillus antagonista* con *Rhizoctonia*, *Pythium*, *Fusarium*; *Streptomyces* antagonista de *Pythium*, algunas especies de la bacteria *Serratia* son utilizados como agente biológico en control de insectos, así como especies de *Bacillus* quienes junto con el hongo *Trichoderma* tienen alta presencia en los suelos (p. 344 - 390)

Los actinomicetos son organismos relacionados con bacterias de micelio filamentoso son saprófitos o parásitos afectando a humanos, plantas y animales, son numerosos en suelos con alta cantidad de materia orgánica y de ellos *Streptomyces* es el más numeroso, estos organismos participan en la degradación y mineralización de material orgánico en el suelo, de ellos los gram negativos son patógenos, de otros se producen antibióticos (Gómez y Corlay 2014, p. 43-44).

Los hongos su gran mayoría prefiere suelos ácidos, condiciones húmedas para su crecimiento, géneros frecuentes en suelos minerales son *Fusarium*, *Rhizoctonia* y en suelos de coníferas *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus* y *Pythium*, en el suelo cumplen funciones como descomponedores de materia orgánica y procesos de mineralización. Algunas especies de *Trichoderma* son utilizadas para control de fitopatógenos como *Rhizoctonia*, *Pythium* quienes provocan daños a plantas vasculares como cultivos y forestales, *Aspergillus*, *Fusarium* *Rhizoctonia* degradan celulosa, sustancias pépticas y además los dos primeros degradan hemicelulosa y almidón (Ramírez, 2014, p. 56 - 88).

En base a los autores antes descritos los géneros más comunes en el suelo son *Bacillus*, *Streptomyces*, *Sarcina*, *Trichoderma*, *Pythium* *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Aspergillus* todos ellos reportados en este trabajo.

Por su parte el SAF ERS y RE no hay presencia de *Meloidogyne* situación que podría deberse a la presencia de la bacteria *Bacillus* spp. y a la alta diversidad de especies vegetales y aunque en SAF PE se presentó *Meloidogyne* y *Helycotilenchus* sus poblaciones son bajas. La presencia de *Streptomyces* en SAF RE puede ser explicada por las cantidades de materia orgánica en el suelo, la baja presencia de géneros de hongos en el SAF JM y ERS podría deberse al pH de estos SAF (6.78 y 6.07).

El SAF RE presentó la mayor cantidad de géneros antagónicos a fitopatógenos como *Trichoderma*, *Bacillus*, *Streptomyces* encontrando en él solamente la presencia de *Helycotilenchus* y *Fusarium* como fitopatógenos en campo. Los datos fueron colectados en el mes de septiembre correspondiente al período lluvioso; sin embargo, en los SAF de JM y ERS se encontró solamente un género de hongos, esto podría ser debido a que son los SAF con menor altitud (554 y 601 msnm) comparado con los otros SAF que están cercanos a los 900 m de altitud logrando por ello acceder a mayor humedad en el suelo y por ende mejores condiciones para que estos prosperen.

5.3.4 Presencia de lombrices en el suelo (Número de lombrices por m²)

En la época seca no se encontró presencia de lombrices en los cuatro SAF en estudio, los datos aquí presentados pertenecen a la época lluviosa (mes de noviembre). El SAF con mayor número de lombrices fue RE (132 lombrices m⁻²) seguido en forma decreciente por PE y ERS (121.6 y 25.6 lombrices m⁻²) finalizando con JM donde no se encontró presencia de lombriz tanto en época seca como lluviosa (cuadro siete).

Cuadro 7. Presencia de lombrices en el suelo (Número de lombrices por m²)

	JM	ERS	PE	RE
Rango de número de lombrices por m ²	0	12-80	64-244	92-160
Número promedio de lombrices por m ²	0	25.6	121.6	132

Número de lombrices por m² en época lluviosa, ya que en época seca no se encontraron

Vásquez (2014, IX) evaluando la macrofauna de lombrices en sistemas agroforestales orgánicos en época lluviosa y época seca encontró (256.49 y 245.83 individuos m⁻²) mientras que en manejo convencional y pleno sol encontró tanto en época lluviosa como en época seca (255.84, 204.37 y 84.94, 70) respectivamente, confirmando la mayor presencia en todos los SAF durante el periodo de lluvias. El mayor valor fue determinado bajo sombra de *Erythrina poeppigiana* y manejo bajo orgánico.

George (2006, p. 43 y 44) realizando una comparación entre sistema de producción con café orgánico, convencional y a pleno sol encontró que “en el orgánico valor de 251.56 a 216.89 lombrices m⁻² siendo mayores a los encontrados en café con manejo convencional y a pleno sol, además comenta que las poblaciones de lombrices fueron mayores en la época lluviosa”. Porras (2006, p. 103) estudiando sistemas de producción de café convencional y orgánico encontró en estas últimas densidades de 67.22 a 10.33 individuos m⁻² en época seca y 81.78 a 20.22 individuos m⁻² en época húmeda en los primeros 10 cm de profundidad del suelo.

Chavarría, Tapia, Soto y Virginio (2012, p. 96) evaluando diversos tipos de manejo del cultivo del café sobre la calidad del suelo encontraron en café orgánico valores de 73.67 a 59.67 lombrices por metro cuadrado en los primeros 10 cm de profundidad del suelo siendo superado solamente por el sistema bosque, estos valores se justifican por la densa vegetación, poca intervención del suelo, el porcentaje de sombra lo que propicia mayor conservación de humedad en el suelo sumado al escaso uso de pesticidas que podrían afectar a esta población.

Huarauya (2014) en su estudio en cafetales con diversas edades de establecimiento (uno – diez años) encontró densidades de lombriz de tierra de 281.6 a 32 individuos por metro cuadrado no encontrando relación con respecto a la edad del cafetal, pero si con respecto a la profundidad de muestreo con mayor número de individuos en los primeros 10 cm de profundidad del suelo con respecto a los 20 y 30 cm de profundidad (p. 59, 74-78).

Pico (2011, p. 52) estudiando las bondades ambientales del sistema orgánico comparado con otros sellos de certificación encontró una densidad de 52.17 lombrices por metro cuadrado, el mismo autor citando a Porras (2006) menciona que encontró 195 lombrices m⁻² en época seca y 69 en fincas convencionales en la misma área geográfica. Estos resultados encontrados por Pico pueden relacionarse con el bajo porcentaje de hojarasca cubriendo el suelo en el cafetal con certificación orgánica, entre otros factores.

Los SAF con mayor a menor cantidad de lombrices por metro cuadrado (RE, PE, ERS y JM) con 132, 121.6, 25.6 y 0 presentaron el mismo orden de cobertura del suelo por hojarasca (77.43, 74.67, 48 y 21.33 %), en cambio el pH del suelo presentó un orden contrario con respecto a los SAF JM, ERS, PE y RE con (6.78, 6.07, 5.71 y 5.44). Los SAF de altitud media presentaron las mayores cantidades de lombrices (anexo 13). El no uso de plaguicidas en cafetales con manejo orgánico favorece la presencia de lombrices.

La ausencia de lombrices en la época seca podría ser el resultado de la escasa humedad durante la época y la profundidad a la cual se obtuvo la muestra, mientras que la ausencia de ellas en el SAF JM durante la época lluviosa pudo ser el efecto de una baja cobertura de hojarasca en el suelo y mayor porcentaje de suelo desnudo de los cuatro SAF, además de que la unidad productiva se localiza en una zona seca comparada con los otros tres SAF.

Basado en los argumentos de los autores antes mencionados y en los resultados de este trabajo se considera que la presencia de lombrices en el suelo se ve favorecida por diversos factores como la humedad brindada por la época lluviosa, altitud de la unidad productiva, el tipo de cobertura del suelo, la profundidad a la cual se toma la muestra siendo mayor en los primeros 10 cm del suelo, el sistema de manejo del cafetal sea orgánico lo que conlleva no utilizar plaguicidas y finalmente el pH del suelo. En caso JM donde no se encontró lombrices en época seca ni lluviosa, podría estar relacionada a que este SAF se localiza en una zona seca y que el muestreo de la época lluviosa se realizó a finales de noviembre finalizando la época húmeda en esta zona, además fue donde se encontró el menor porcentaje de cobertura de suelo por hojarasca de 21.23 %.

5.4 Manejo de los sistemas agroforestales con café

Se inicia presentando los resultados obtenidos con el instrumento de encuesta aplicada al productor en cada SAF en los incisos (5.4.1 al 5.4.4) acerca del manejo de los SAF y se prosigue con los resultados de las mediciones en campo para cada variable en los incisos (5.4.5 al 5.4.10)

5.4.1 Manejo del SAF con café, según el productor Juan Mora (JM)

La limpieza del café se realiza de mayo a noviembre a través de una persona contratada y tres personas de la familia utilizando machete y lima, la poda se realiza después del corte, el abonado se realiza en mayo con 140 sacos de estiércol por hectárea y pulpa del café, utilizando en ambos momentos la misma cantidad de mano de obra a diferencia del corte en donde utiliza siete personas contratadas entre noviembre a enero.

Posee un café renovado con dos a tres años que ha intercalado en el café adulto, según el productor los problemas sanitarios que afectan a su café son: antracnosis (*Colletotrichum coffeanum* Noack), roya (*Hemileia vastatrix*) y broca (*Hypothenemus hampei*) en menor cuantía. Según el productor en 2009, 2010 y 2011 obtuvo rendimientos de 479.14, 479.14 y 511.08 kg ha⁻¹ de café pergamino.

Según el productor “ha establecido en el cafetal especies arbóreas como: *Cordia alliodora*, *Plastymiscium pleiostachium*, *Manilkara zapota*, *Cedrella odorata*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Tabebuia rosea*, *Guazuma ulmifolia*, *Citrus spp* e *Inga spp* a los cuales se les poda para regular sombra y obtener leña entre los meses de febrero-abril”.

De acuerdo con el productor: “la cosecha del café se corta solo la cereza roja, el corte consta de 6 colectas, el café lo despulpó diario en la finca con agua conducida por gravedad, las aguas mieles las usó para regar el café; al inicio de la cosecha revisó la camisa y el pechero de la

despulpadora, el café lo fermentó en sacos, el punto de fermentación lo determinó al tacto y calificó el café lavado por revisión manual y luego lo oreó en zarandas antes de venderlo en pergamino oreado y contrata mayormente mujeres para los trabajos del café”.

En la finca se establecen otros rubros temporales como el chile tabasco con rendimiento de 606.91 kg ha⁻¹ a un precio de venta de US\$ 45.00 por 45.45 kg. En la entrada de la época lluviosa realiza la limpieza del chile con la misma cantidad de personas que utiliza para la limpieza en café, abona el chile con 68.18 kg de triple 15 y 68.18 kg de amonio en dos momentos, abono foliar cada mes, fungicida cada dos meses.

Podemos referir que el SAF JM La actividad pecuaria es mínima de una a dos cabezas de bovino cuya producción es el autoconsumo. Otros ingresos fueron la venta de naranja por un valor de C\$ 5,000 el corte.

5.4.2 Manejo del SAF con café, según el productor Elías Rivas Sequeira (ERS)

Presentó un café renovado de dos años en 2010 y en 2011 haría más renovación y ampliar área con café. la limpieza del café se realiza de enero a febrero con cinco personas de las cuales una es contratada, se realiza la labor de caseo y deshija una vez por año con mano de obra familiar, La sombra se regula una vez por año en el mes de febrero y en el mes de mayo la construcción de barreras muertas de ramas y residuos de *Musáceas* además de la elaboración de diques con piedras.

Según el productor “ha establecido *Ingas* y *C. alliodora* para sombra del café; en febrero poda el café de forma manual al igual que los árboles de sombra, el productor afirma que la roya (*Hemileia vastatrix Berk et Br.*) es la enfermedad que más le afecta al igual la plaga de la broca (*Hypothenemus hampei Ferrari*)”.

La cosecha va de octubre a noviembre con dos cortes por semana solo el rojito, el café se corta por la mañana y despulpa por la tarde para ello utiliza agua de pozo, despulpa en la finca y la pulpa la amontona para usarla como abono orgánico entre abril y mayo y las aguas mieles las utiliza para regar el café.

Realiza varias calibraciones de la despulpadora durante el corte revisando la camisa y el pechero cada vez que hay problemas, la fermentación la realiza en cajones de madera y lo prueba al tacto en el lavado, posteriormente orea el café en zarandas antes de venderlo. El rendimiento de su café en 2009, 2010 y 2011 fue de 1 405.48, 319 y 191.7 kg ha⁻¹ respectivamente, este comportamiento se debe a que en 2009 y 2010 tenía cafetales viejos con más de 30 años, los cuales está renovando.

La actividad pecuaria es mínima un bovino cuya producción se destina al autoconsumo. Genera otros ingresos por la venta de frutas como naranjas y aguacates. El productor contrata hombres o mujeres, pero no contrata niños para las labores del café y él es quien decide lo que hay que hacer.

5.4.3 Manejo del SAF con café, según el productor Pascual Espinoza (PE)

Para el manejo del cafetal contrata varones y mujeres por igual, no contrata menores. En mayo realiza las podas de formación en árboles y al mismo tiempo obtiene combustible (leña) para el consumo del hogar y la limpieza la realiza en septiembre. Las decisiones sobre la unidad productiva las determina el productor

Las podas de café las realiza en febrero por lo general son podas sanitarias y recepo, el productor plantea que los problemas sanitarios más comunes en su cafetal son el ojo de gallo (*Mycena citricolor*) y la roya (*H. vastatrix*). En el cafetal encontramos especies de sombra como: *Inga*

spp, *Citrus spp*, calandria (*Calliandra colothyrus Meisn*), laurel (*C. alliodora*), mampas (*Lippia myriocephala*), cacahuillo (*Trichilia spp*), coyote (*Platymiscium pleiostachium*).

Su café lo despulpa en la finca a diario con agua de pozo después del corte, la pulpa la tira fresca al cafetal de uno a tres días después de ser despulpada y las aguas mieles las trata en filtros sumideros y luego la usa para regar el café. Al inicio de la cosecha calibra la despulpadora revisando la camisa y el pechero. El café es fermentado en sacos y el punto de fermentación lo determina por el tiempo, califica el café en el lavado de forma manual y quitando el flote, luego orea el café en zarandas antes de venderlo. El rendimiento en 2009, 2010 y 2011 fue de 970.55, 808.8 y 1 294.1 kg ha⁻¹ respectivamente, todo el café va a la venta como pergamino lavado y oreado (Anexo 1).

5.4.4 Manejo del SAF con café, según el productor Remigio Espinoza (RE)

Todo el café es destinado a la venta, la limpieza del cafetal se realiza en septiembre con mano de obra familiar y contratada. Utiliza 2.27 kg de abono orgánico por planta y orín de lombriz a razón de 1 l de orín por bombada de 20 l. La mano de obra que contrata es igual entre varones y mujeres, pero no contrata menores de edad y el productor es quien lleva el libro de registro, elabora el plan de manejo y quien toma las decisiones.

Las especies forestales que ha establecido son guaba roja y negra (*Inga spp*), Chaperno (*Albizia adinocephala*), mampas (*Lippia myriocephala*), coyote (*Platymiscium pleiostachium*), aguacate montero (*Phoebe mexicana*), varazón (No identificado), naranja (*Citrus sinensis*), capirote (*Miconia spp*), cacahuillo (*Trichilia spp*).

La poda del cafeto la realiza en febrero después de la cosecha, los árboles para sombra se podan entre abril a mayo de cuya actividad se obtiene material para barreras muertas, leña y postes, las enfermedades más comunes en el cafetal son la antracnosis (*Colletotrichum coffeanum*), la

mancha de hierro (*Cercospora coffeicola* Berck & Cook), el ojo de gallo (*Mycena citricolor*), la roya (*H. vastatrix*) y las plagas más comunes la broca (*H. hampei*), el minador de la hoja (*Leucoptera coffeella* Guer-Menev) y las cochinillas.

La cosecha de café se realiza de octubre a enero y la cosecha de la naranja de noviembre a enero, realiza cuatro colectas de café rojito, el cual despulpa a diario en la finca con agua procedente de la pila, la pulpa es tirada fresca al cafetal y las aguas mieles se aplican al café, la fermentación del café se realiza en pilas de concreto y a través del tacto determina su punto de fermentación al igual que el punto de lavado, posteriormente seca el café en zarandas antes de venderlo.

El rendimiento de su café en 2009, 2010 y 2011 fue de 574.97, 479.14 y 638.86 kg ha⁻¹, respectivamente como café pergamino lavado oreado, además obtiene otros ingresos en la misma área con la producción de 42 699 naranjas ha⁻¹ (anexo 1).

En los cuatro SAF la mano de obra familiar es la principal, aunque se contrata personal temporal especialmente para las labores de cosecha, abonado, podas y limpieza. La fermentación y lavado del café la realizan al tacto, excepto PE utiliza además el tiempo, todos olean el café en zarandas y utilizan la pulpa y aguas mieles como abono. Los problemas sanitarios de *H. vastatrix* e *H. hampei* son comunes en los cuatro SAF, así como rendimientos cercanos a los 500 kg ha⁻¹ y área menor a 4.23 ha. Por lo antes descrito estamos hablando de pequeños productores de café orgánico con un nivel tecnológico superior al orgánico bajo, pero inferior al orgánico intensivo según Montagnini *et. al.*, (2015, p. 137).

Cuadro 8. Resumen del manejo de los sistemas agroforestales según los productores

Manejo del SAF	JM	ERS	PE	RE
Limpieza del cafetal	Mayo-Nov	Ene-Feb	Septiembre	Septiembre
Abonado*	Mayo	Mayo	Oct - Nov	Oct - Ene
Especies arbóreas introducidas	Mayoría maderable	Ingas Cordia	Mayoría para sombra	Mayoría para sombra
Poda del café	En-Feb	Feb	Febrero	Febrero
Poda de árboles	Feb-Abr	Feb	Mayo	Abr - Mayo

Manejo del SAF	JM	ERS	PE	RE
Contrata mano de obra	Si (mujeres)	Si	Si	Si
Corte del café	Nov-Ene	Oct-Nov	Oct - Dic	Oct - Ene
Despulpe con agua	diario	diario	diario	Diario
Oreado del café	Zarandas	Zarandas	Zarandas	Zarandas
Fermentado del café	sacos	Cajón madera	Sacos	Pila concreto
Prueba de fermentado y lavado	Tacto	Tacto	Tiempo Tacto	Tacto
Plagas frecuentes	Antracnosis, roya, broca	Roya, broca	Ojo de gallo, roya	Antracnosis, roya, mancha hierro, ojo de gallo, broca, minador, cochinilla
Rango de Rendimientos según el productor (kg ha ⁻¹)	479.14 511.08	1 405.48 191.7	970.55 808.8	638.86 479.14

*Abonado con pulpa de café y aguas mieles

5.4.5 Biomasa almacenada en el suelo (t ha⁻¹)

El cuadro nueve expresa que, el mayor aporte de biomasa al suelo correspondió al SAF JM seguido de RE, PE y ERS (13.20, 12.93, 11.91 y 11.63 t), respectivamente. El componente fraccionado fue quien realizó los mayores aportes, seguido de rama y hoja (anexo 14). Los SAF de altitud media presentaron volúmenes similares, no así los de altitud baja cuya diferencia fue mayor (1.5 t) siendo la pendiente del SAF ERS un factor a considerar.

Cuadro 9. Biomasa almacenada en el suelo de cuatro SAF con café (t ha⁻¹)

SAF	Hoja	Rama	Fraccionado	Total (kg ha ⁻¹)	Total (t ha ⁻¹)
JM	4 298.81	4 070.37	4 833.56	13 202.74	13.20
ERS	3 037.04	2 576.93	6 015.46	11 629.43	11.63
PE	2 679.58	3 052.35	6 181.24	11 913.17	11.91
RE	3 647.32	4 695.96	4 590.45	12 933.73	12.93
Total (kg ha⁻¹)	13 662.75	14 395.61	21 620.71		

Los estudios de Centeno y Herrera (2005, p. 22) cafetal bajo dos tipos de sombra (leguminosas y no leguminosas) encontraron aportes promedio de biomasa al suelo de 4 618.15 kg ha⁻¹ y 2

985.17 Kg ha⁻¹ respectivamente, siendo las hojas las que más aportaron al total comparado con las ramas en el tipo leguminosa, ocurriendo lo contrario en el tipo no leguminosa donde predominaron los aportes de las ramas, es importante destacar que no se hace mención al mantillo pues los elementos que definen son hojas fina, hoja gruesa y ramas.

Los autores antes mencionados argumentan que las leguminosas presentan alta producción de follaje, mientras que las no leguminosas producen menor cantidad de biomasa vegetal, presentan una copa más estrecha y rala.

Altamirano (2005, p. 12) en su investigación en Masatepe encontró aportes de biomasa al mantillo de 10 a 3.92 t materia seca por hectárea, aportando los mayores valores el sistema conformado por árboles de *Inga laurina* y *Simarouba glauca* y el menor representado por cafetal a pleno sol.

Chavarría *et. al.*, (2012, p. 96) evaluando diversos tipos de manejo del cultivo del café sobre la calidad del suelo “encontraron en café orgánico valores de biomasa (hojarasca) 13.88 a 9.64 t ha⁻¹ de materia seca superando a todos los demás sistemas bajo estudio (convencional, sostenible, pleno sol y bosque) en orden decreciente”. Estos resultados fueron asumidos al manejo que se le brinda al café orgánico como el caso de las podas y los aportes de abonos orgánicos. Terán, Rodríguez, Enríquez, Velasco (2018) analizando la estructura y acumulación de biomasa en sistemas agroforestales con café encontraron valores de mantillo de 7.73 a 2.86 t ha⁻¹ (p. 223)

Los aportes de biomasa seca al suelo en este estudio son similares a los descritos por Chavarría *et. al.*, (2012), pero superiores a los descritos por Terán *et. al.*, (2018) y Centeno y Herrera (2005). El volumen de biomasa seca aportado al suelo depende de varios factores como la abundancia, edad relacionada al desarrollo y tipo de especie arbórea, manejo que aplica el productor en el sistema (podas, adición de enmiendas orgánicas), pendiente del terreno como el

caso de ERS (45.3 %) que podría propiciar pérdidas de biomasa por erosión, así como la edad y estado productivo de los arbustos de café.

El SAF ERS presentó café más viejo (30 años) por tanto el que necesita mayor manejo de tejidos (28 %) de su densidad inicial. Es curioso que el mismo orden de la altura del cafetal (2.17, 1.41, 1.79 y 2.03) es el mismo orden de aporte de biomasa seca de los SAF (JM, ERS, PE y RE).

Los SAF RE y ERS son los que presentaron mayor densidad arbórea (416 y 304 individuos ha⁻¹) y leguminosas por hectárea Ingas y *Platimiscium* en su mayoría (124 y 96) sin embargo no son los que presentan la mayor cantidad de biomasa almacenada, las hojas de estas especies son finas lo que posiblemente no contribuyó a altos volúmenes como si los aportaría *Erythrina poeppigiana*.

5.4.6 Cobertura del suelo en el SAF con café (%)

La figura ocho, revela que los SAF de altitud media presentaron los mayores valores de cubierta del suelo con hojarasca con 77.33 % RE y 74.67 % PE, seguido de los SAF de altitud baja con 48 % ERS y 21 % JM respectivamente, también los SAF de altitud baja presentaron los mayores valores de cubierta del suelo con hoja ancha anual con 38.67 % ERS y 33.33 % JM. Otro elemento que destaca es los bejucos en la calle presentando el mayor valor el SAF JM con 13.33 % y bejucos en el carril el SAF PE con 10 % (anexo 15).

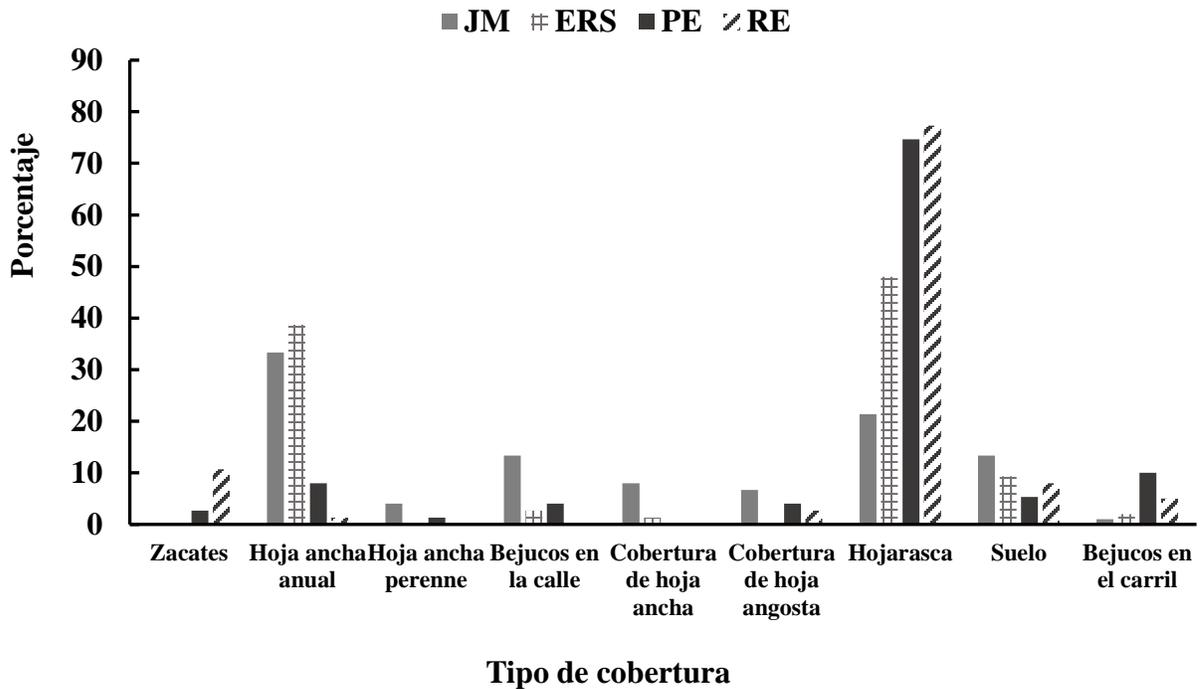


Figura 8. Cobertura del suelo en el SAF con café utilizando la metodología “Punta de zapato” propuesta por (Guharay, 2000, p. 204).

Pérez, Valdés y Ordaz (2012) afirman que “logrando un 11-97 % de cobertura de hojarasca y residuos vegetales producto de la poda de árboles para sombra ayudan a reducir las pérdidas de suelo en un rango de 54 – 86 %” (p. 255 y 256).

Pico (2011, p.49) aplicando la misma metodología “punta de zapato” en su estudio en cafetales orgánicos encontró 47.33 % de cobertura por hoja ancha y 21.5 % por hojarasca, 22.5 % de zacates y suelo 4.26 %, mientras que en los cafetales con otros tipos de certificación (Rainforest Alliance 51 %, UTZ 73.52 %, Convencional 57 %) la hojarasca fue el tipo de cobertura predominante, argumentando que en cafetales orgánicos se prefiere mantener una cobertura viva sobre todo hoja ancha para amortiguar el golpe de lluvia y disminuir problemas de erosión.

Según Aguilar (2007, p.43) afirma que la metodología punta de zapato permite tomar decisiones de manejo de las malezas presentes como cobertura del suelo con manejo selectivo de especies competitivas para promover las especies para cobertura, resultando en un cambio de la composición florística, aumento de cobertura de malezas nobles e.g. (*Commelina diffusa* o hierba de pollo, *Oplismenus burmannii* o murruca y *Panicum trichoides* o zacate ilusión), mayor volumen de biomasa acumulada, mayor uso de mano de obra, sin embargo los árboles para sombra, hojarasca y cafeto adulto disminuyen la cobertura y biomasa de malezas nobles.

La radiación solar en un cafetal favorece la presencia de hoja ancha y zacates, mientras que en cafetales con sombra es común una cobertura de suelo en base a plantas rastreras, hojarasca y suelo desnudo (Moraga, *et. al.*, 2011, p. 46). Aguilar (2013, p. 115) plantea que “si se conoce la descomposición y mineralización de los residuos vegetales en el suelo se puede mejorar el manejo de plantaciones de café bajo sombra de árboles maderables, de servicio o de uso múltiple”.

El mismo autor argumenta que *O. burmannii* y *P. trichoides* mueren en diciembre y *C. difusa* lo hace en enero de cada año devolviendo todos sus nutrientes al suelo y previamente liberando sus semillas para reiniciar su ciclo en la entrada de la época lluviosa. Una maleza de cobertura no debe ser hospedera de plagas o enfermedades, sistema radicular superficial, altura máxima de 10 – 15 cm, no afectar ramas bajas del cafeto, no competir por agua y nutrientes con el café, aportar sus nutrientes al suelo una vez cumplido su ciclo (p. 45, 48).

Moreno (2013, p. 29) afirma que la combinación de árboles para sombra (*Inga* y *Simarouba*) con manejo orgánico intensivo disminuyen la diversidad y abundancia de malezas en el cafetal.

Según Moreno (2013), Moraga *et. al.*, (2011) y Aguilar (2007) argumentan que “la radiación solar influye sobre la cobertura del suelo”. El SAF ERS con el mayor porcentaje de sombra (91.26 %) segundo en altura y densidad de árboles y primero en densidad de arbustos de café

no presentó zacates, hoja ancha perennes y cobertura de hoja angosta sobre el suelo, fue tercero en hojarasca, segundo en suelo desnudo y primero en hoja ancha anual.

El SAF RE fue quien presentó el menor porcentaje de sombra y por tanto quien presentó los mayores valores de zacate, segundo en bejucos en carril, tercero en suelo desnudo y primero en hojarasca lo que pudo deberse a que es quien presenta el mayor número de especies leguminosas de los cuatro SAF.

Se considera que la sombra y el tipo de cobertura aérea que estos brindan debido a su altura y estructura de copa, así como su densidad por área y tipo de especies predominantes influyen sobre la cobertura del suelo considerando además que las decisiones que toma el productor acerca del manejo del agroecosistema son relevantes para su condición actual.

5.4.7 Sombra de los SAF con café (%)

Los SAF de altitud baja presentaron los mayores valores en porcentaje de sombra ERS (91.26 %) y JM (80.6 %) seguidos por los SAF de altitud media PE y RE con 73.32 y 70.46 % respectivamente (anexo 16). Los SAF de altitud baja son quienes presentaron los mayores valores promedios de altura y diámetro de árboles dentro de los agroecosistema bajo investigación (figura nueve).

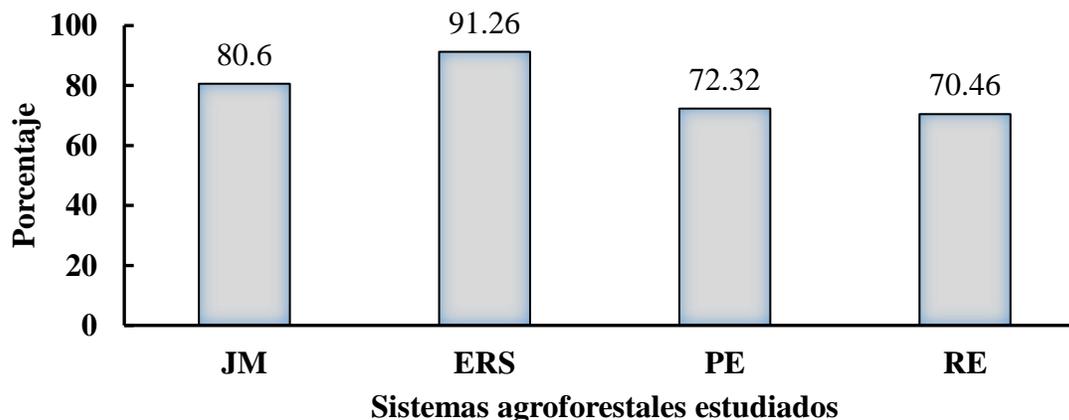


Figura 9. Sombra de cuatro sistemas agroforestales con café bajo manejo orgánico (%).

Centeno y Herrera (2005, p. 18) afirman que los árboles no leguminosos presentan una copa más estrecha y mayor altura disminuyendo el porcentaje de sombra. Los mismos autores citando a varias fuentes comentan que los niveles óptimos de sombra recomendados para el cultivo del café son 30 – 40 %, ellos encontraron en sistemas con leguminosas un 73.63 % de sombra con una densidad de 522.53 árboles ha⁻¹ en promedio y no leguminosas un 68.18 % con 415.19 árboles ha⁻¹.

La certificadora Naturland con la que actualmente trabajan los productores en sus normas “establece mínimo de 40 % de sombra en SAF con café y mínimo 70 árboles ha⁻¹ y al menos 12 especies con dominancia no mayor del 60 % de la especie más abundante, no menos de dos a tres estratos” (Naturland, 2019, p. 40). Mientras que Zapata (2019) menciona que porcentajes de sombra por encima del 40 % propicia una disminución de los rendimientos (p. 695).

CATIE, CIRAD, CONSERVATION INTERNATIONAL (2016, p. 19) afirman que “la sombra favorece a los organismos del suelo importantes en la descomposición de materia orgánica destacándose las lombrices de tierra, bacterias y hongos del suelo favorecidos por la humedad que más se conserva en la parte superior del suelo”.

Cuadra y Alvarado (2011, p. 29 y 26) encontraron que “en fincas pequeñas (70.17 %) y certificadas (60.94 %) la sombra es mayor que en fincas grandes (42.9 %) no certificadas (52.13 %) y sostienen que el cafetal bajo sombra brinda hábitat para comunidades de otras especies enriqueciendo la biodiversidad”. Por su parte Pico (2011, p. 42) “encontró valores promedios de 47 % de sombra en cafetales con certificación orgánica en Turrialba-Potosí, C.R.”.

Los SAF de altitud baja (ERS y JM) presentaron los mayores porcentajes de sombra (91.26 y 80.6) y árboles con mayor diámetro y altura promedio, en su mayoría maderables (214 y 40 individuos por hectárea) y frutales como *Persea americana*, *Citrus sinensis* y *Mangifera indica* sobre todo en SAF ERS. Los SAF de altitud media presentaron árboles de menor altura y diámetro y RE presentó la mayor abundancia de especies leguminosas los cuales poseen una

copa abierta lo que pudo haber incidido en que obtuviera el menor porcentaje de sombra de los cuatro SAF a pesar de que obtuvo la mayor abundancia arbórea (416 árboles ha⁻¹).

5.4.8 Diagnóstico fitosanitario del café (%)

En condiciones de época seca y lluviosa en los SAF estudiados destacó como problema fitosanitario la presencia de roya (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broom) registrando en los cuatro SAF sus valores más altos en la época seca, además los SAF de altitud media presentan los mayores valores del estudio.

Los SAF de altitud media utilizan variedades susceptibles a la enfermedad como *Caturra* y *Bourbon*, mientras que en el SAF JM su principal problema en época seca fue *Leucoptera coffella* siendo el SAF con menor altitud. También destaca en los cuatro SAF la presencia de (*Rhabdopterus jansoni* (Jacoby) Coleoptera: Chrysomelidae) conocido como lorito específicamente en la época lluviosa (cuadro 10).

Cuadro 10. Diagnóstico fitosanitario del café en cuatro SAF (%)

Productor	JM		ERS		PE		RE	
	ES	ELI	ES	ELI	ELI	ELI	ES	ELI
Hojas sanas	17.26	37.92	41.9	59.93	37.52	18.00	33.6	28.31
Hoja con daño de lorito	0	43.77	20.53	19.13	0.00	40.29	27.13	47.8
Hojas con roya	16.24	3.40	23.04	6.5	51.65	28.22	30.28	16
Hojas con mancha de hierro	14.47	2.83	6.51	2.35	0.00	5.73	0	3.02
Hojas con ojo de gallo	0	2.83	2.17	1.62	2.51	1.02	8.2	1.86
Hojas con minador	52.03	6.79	4.17	5.78	0.63	4.29	0.47	0.93
Bandola con antracnosis	0	0	0.17	0	0.78	0	0	0
Hojas con antracnosis	0	2.45	1.5	4.69	6.91	2.45	0.32	2.32
Hojas totales	394	530	476	554	637	489	462	431
frutos brocados	0	1.038	0	0.35	0	2.95	0	0.81
frutos brocado con <i>Beauveria</i>	0	0	0	0	0	0.12	0	2.7

Productor	JM		ERS		PE		RE	
frutos con chasparria	0	0.26	0	0	0	0.12	0	0.4
frutos totales	0	385	0	571	0	848	0	742
Nudos improductivos/bandola	37.31	37.31	37.31	37.31	37.31	37.31	37.31	37.31
Nudos productivos/bandola	62.69	62.69	62.69	62.69	62.69	62.69	62.69	62.69
Nudos totales	100	100	100	100	100	100	100	100

ES: Época seca; ELI: Época lluviosa

Según el World Coffee Research (2017. p. 1, 2, 3 y 7) las variedades *Bourbon*, *Caturra*, *Pacas* y *Catuaí* utilizadas por los productores en este estudio son susceptibles a *Hemileia vastatrix* y nemátodos, además que la altitud óptima para estas variedades son los 1300 msnm. La sombra densa favorece a la roya aumentando su dispersión cuando llueve y en períodos secos la sombra disminuye la velocidad del viento reduciéndose la dispersión del inóculo (Pico, 2014, p. 10).

Por su parte SAGARPA y SENASICA (2016, p. 7, 10 y 11) afirman que la roya necesita condiciones ambientales como temperaturas entre 18 – 25 °C, oscuridad, pero además del salpique de lluvia en hojas bajas, agua en el envés de las hojas y baja intensidad luminosa, por ser un parásito obligado la Uredinospora puede sobrevivir por seis semanas bajo condición ambiental seca, los vientos, lluvia, trips, moscas y avispas favorecen su dispersión generando alrededor de 1600 esporas mm⁻² en un período de cuatro a cinco meses, finalmente afirma que la mayor incidencia ocurre a altitudes menores de 800 msnm.

Barrera, Herrera y Gómez (2008, p. 246 y 248) realizando un estudio sobre *Rhabdopterus jansoni* Jacoby en finca cafetalera con sombra comentan que se ha reportado en Nicaragua y que el daño es realizado en las hojas y frutos observándose en fincas con altitudes de 600 a 900 msnm, estos autores llegaron a la conclusión que las poblaciones de *R. jansoni* son fuertemente influenciados por la época lluviosa dándose sus picos entre julio (6.93 ± 0.997 adultos por planta) y agosto (13.27 ± 1.389 adultos por planta) y en la época seca no se encontraron adultos.

George (2006) expresa que “los sistemas de manejo de café convencional y orgánico *Mycena citricolor* y *H. vastatrix* son los más importantes, aunque el manejo convencional es más afectado al presentar mayor número de especies patógenas que en el manejo orgánico”. Además, plantea que la plaga principal en cafetales convencionales es *H. hampei*, no reportándose en cafetal orgánico. El mismo autor afirma que la plaga más importante en cafetal orgánico son los fitonemátodos y en menor cuantía Cochinia arinosa (*Planococcus citri*), gusanos cortadores (*Agrotis spp.*) y taltuzas o roedores (*Orthogeomys spp.*), *Atta spp.* se presentó más en cafetales convencionales

Filho, De Melo y Astorga (2015) plantean que la caficultura con sombra representa el 74.4 % de la caficultura centroamericana y que la latitud, altitud entre otros factores definen la temperatura de una región siendo la óptima para la roya 22-23 °C favorecida además por humedad, más de 40 % de sombra, disponibilidad de tejido vegetal todos ellos propician un hábitat para el hongo, planteando finalmente que la presencia de roya se traduce en una combinación de manejo del cafetal y la influencia del clima (p. 35 - 43).

Los mayores y menores valores promedio en el año de *H. vastatrix* (39.94 % – 9.82 %), fueron obtenidos en lo SAF PE y JM con la mayor y menor altitud, entre los SAF de baja altitud ERS presentó mayores valores que JM posiblemente por tener un cafetal más viejo y mayor porcentaje de sombra además de variedades susceptibles al hongo en los cuatro SAF estudiados, esto concuerda con lo que plantea World Coffee Research (2017), Filho *et. al.*, (2015) y SAGARPA y SENASICA (2017).

René Mendoza Vidaurre director del instituto de investigación NITLAPAN en la revista “*Envío DIGITAL*” argumenta que el proceso de la cosecha con el movimiento de los cortadores tiende a diseminar el hongo de la roya apareciendo los signos unas semanas después, lo que puede ser el indicativo de los altos valores en época seca, siendo marzo la fecha en que se realizó este diagnóstico fitosanitario (*ENVIO DIGITAL*, 2013, p. 1), lo que podría sustentar que los mayores porcentajes encontrados fueron en la época seca (marzo) específicamente.

El daño de *R. jansoni* fue otro problema sanitario destacado y como menciona Barrera *et. al.*, (2008), está en su rango de altitud reportado y el daño está claramente definido durante la época lluviosa concordando con los argumentos de la fuente antes citada.

Jiménez y Rodríguez (2014, p. 180 -182) plantean que “(*L. coffeella* Guerin – Meneville) es una plaga de las hojas en el cultivo del café cuya agresividad aumenta en época seca favorecido por el aumento de la temperatura y la disminución de la humedad relativa”; idénticos argumentos plantea CENICAFE (2011, p. 2), Acuña y Betanco (2007, p. 24) quienes argumentan que “el nivel crítico de esta plaga es 20 – 30 % de presencia en Centroamérica y Nicaragua”.

Sermeño *et. al.*, (2019, p. 250) argumenta que “*L. coffella* se presenta con mayor frecuencia entre los meses de febrero y abril y en altitudes de 400 a 700 msnm, además sugiere no podar temprano o sea en los meses anteriormente descritos sino hasta mayo”.

Basados en estos argumentos se considera su alta presencia en el SAF JM siendo la unidad productiva de menor altitud y localizado en una zona más seca comparado con los SAF ERS, PE y RE quienes se separan 47, 336 y 326 metros de diferencia en altitud y como menciona CENICAFE (2011, P. 2), por cada grado Celsius de diferencia aumenta o disminuye un ciclo biológico de este insecto, lo que podría suponer mayores poblaciones durante la época seca en zonas bajas

5.4.9 Clasificación diamétrica de los árboles en los SAF con café en 0.25 ha

Los resultados indicaron que los cuatro SAF presentaron individuos en las categorías de maduro, fustal y Latizal exceptuando de esta última categoría al SAF JM. En los SAF JM, ERS, PE y RE predominaron árboles en la categoría de fustal (10 - 30 cm de DAP) 11, 48, 24 y 76 individuos respectivamente, categoría de Latizal (5 – 9.9 cm DAP) con 0, 13, 13 y 24 individuos y categoría maduro (mayor a 30 cm de DAP) con cuatro, 15, uno y cuatro individuos respectivamente.

Es importante resaltar que El SAF JM fue el único que no presentó árboles de Latizal lo que podría afectar el relevo sucesional de la masa arbórea (anexo 17). Al mismo tiempo la figura utilizada refleja la densidad arbórea en cada uno de los SAF con café (figura 10).

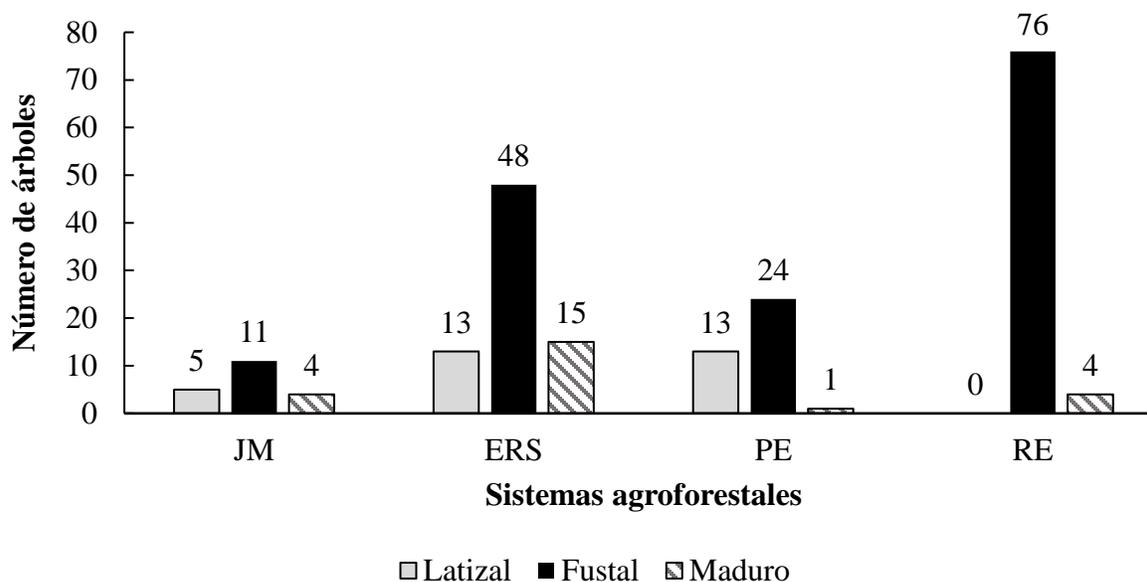


Figura 10. Clasificación diamétrica de la población arbórea (según Sabogal, *et al.*, 2004, citado por Salazar, 2012, p. 48).

Por un lado, Umanzor (2016, p. 23 y 24) en su estudio encontró densidades de 234 árboles ha^{-1} mayores a 10 cm de DAP definiéndola como alta densidad, el mismo citando a FIAH (2004) quien propone un rango de 40 a 69 árboles ha^{-1} . Por otro lado, Fischerworrning y Rokamp (2001) proponen densidades arbóreas de 40 a 166 individuos ha^{-1} , mientras que en este estudio se encontraron densidades de 60, 304, 152 y 416 individuos por hectárea correspondiente a los SAF JM, ERS, PE y RE respectivamente. También Umanzor (2016, p. 28) encontró en su estudio que el mayor número de individuos en base a su diámetro a la altura del pecho los encontró entre los 10 y los 29 cm de diámetro, siendo similar a los resultados en este trabajo.

Salgado, Ruiz, Moreno, Irena y Aguirre (2018, p. 123) estudiando dos ejidos con café bajo sombra en Cacaohatán, Chiapas encontraron diámetros promedio de 100.99 cm y 33.47 cm siendo sistemas con edades de 60 y 15-25 años respectivamente. Aristizabal (2011, p. 54) considera que en los árboles de sombrero con la edad límite de 20 años se alcanza una mayor

biomasa aérea, con lo cual también aumenta su diámetro; sin embargo, esto depende de la especie, densidad de plantación, entre otros factores.

Lohier (2016) realizando comparación del comportamiento de árboles en sistemas agroforestales de cacao y café y configurando cinco categorías diamétricas (5-10; 10-15; 15-20; 20-25 y más de 25 cm de DAP) encontró mayor número de árboles en las categorías de 10 hasta 20 cm seguida de la de más de 25 cm, sin embargo, en los árboles con DAP hasta los 28 cm a medida que tenían mayor altura su DAP no aumentaba de manera proporcional; por lo tanto sugieren que la densidad y altura del dosel puede influir en el desarrollo del diámetro de los árboles (p. 29 y 35).

Es notorio el rango de densidad de árboles en este trabajo 416 – 60 individuos ha⁻¹ sin embargo también lo es la predominancia de la categoría fustal en los cuatro SAF. Según Salgado *et. al.*, (2018), Aristizabal (2011) y Lohier (2016) el diámetro de un árbol depende de la edad de este, pero que según estos dos últimos autores también se debe considerar la densidad por área, la especie y la altura que estos alcancen en determinado momento de su vida y el manejo que brinda el productor, porque pueden afectar el desarrollo traducido a diámetro del árbol.

De los cuatro SAF estudiados, JM presentó los árboles con mayor altura lo que podría ser la causa de la ausencia de la categoría Latizal, lo que a corto y mediano plazo afectará el estado sucesional de los árboles dentro del agroecosistema.

5.4.10 Clasificación de la población arbórea según su altura en metros

La figura 11, demuestra que los cuatro SAF presentaron individuos en la categoría de dosel bajo (cinco a menos de 16 m) con 11, 57, 34 y 85 individuos correspondientes a SAF JM, ERS, PE y RE, dosel medio (16 a 24 m) con cuatro, 18, cuatro y 12 individuos y solamente los SAF RE y ERS presentaron individuos en la categoría dosel alto (más de 24 m) con siete y un individuo

respectivamente. Los resultados indicaron que los SAF RE y ERS son los que presentaron la mayor densidad de árboles por área (anexo 17).

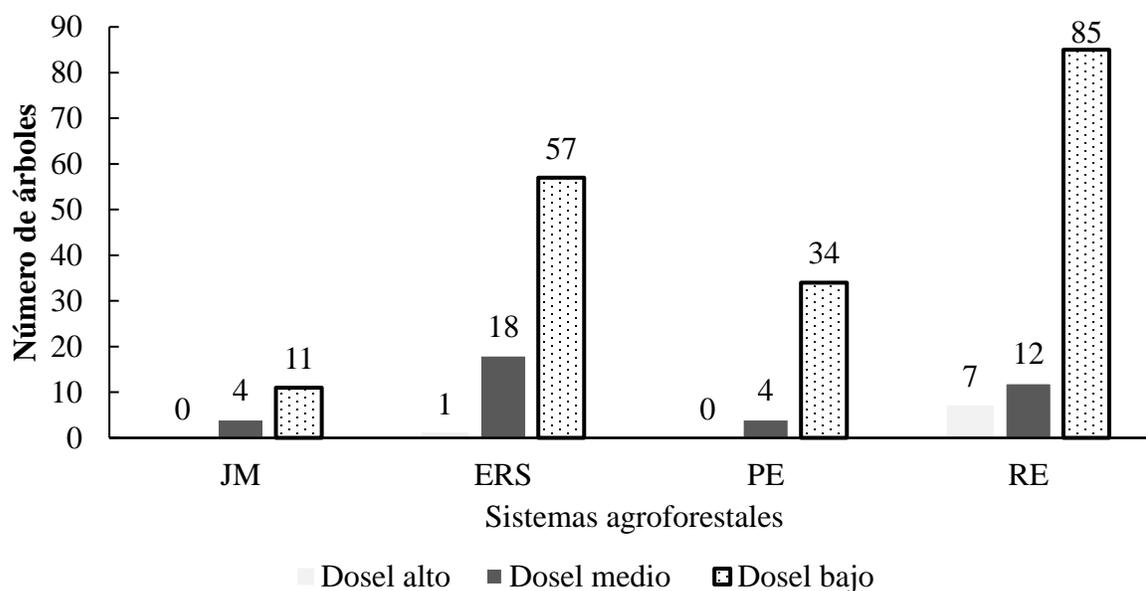


Figura 11. Clasificación de la población arbórea según su altura en metros (García, *et. al.*, 2010, citado por Pineda, 2012, p. 8).

Pérez, Valdés y Ordaz (2012, p. 53) sostienen que un dosel vegetal alto y amplio no disminuye las pérdidas de suelo, a diferencia de un dosel bajo y denso podría reducir con mayor efectividad la erosividad de la lluvia.

Cuadra y Alvarado (2011, p. 27) evaluando servicios ambientales, tipos de manejo y fincas de diferentes tamaños plantean que “las fincas certificadas presentaron mayor número de estratos y de especies (33) que las convencionales (24 especies), los arbustos de café en primer estrato, segundo estrato refiere la sombra temporal y frutales y tercer estrato los árboles maderables”.

Los estratos que definieron fueron: bajo, menor de cinco metros; medio-bajo, cinco a 10 m; medio alto, de 10 – 15 m y alto, mayor a 15 m. Encontraron que en las fincas pequeñas

certificadas predominaba el estrato medio bajo localizado en el dosel bajo según la clasificación de este estudio.

Salgado, Ruiz, Moreno, Irena y Aguirre (2018, p. 123), estudiando dos ejidos con café bajo sombra en Cacaohatán, Chiapas encontraron alturas promedio de 15.34 y 9.9 m en cafetales con sombra con edades de 60 y 15 - 25 años respectivamente. Ferreira (2012, p. 201) plantea en su estudio realizado en Brasil que “en la búsqueda de promover la transición agroecológica de la caficultura la mayoría de los productores estaban satisfechos manejando SAF por la obtención de otras fuentes de ingreso además del café”.

Sin embargo, también plantea que la tasa de crecimiento arbóreo conllevó una menor producción en los cafetales y que esto fue un elemento de insatisfacción para los productores por la competencia entre los árboles y el arbusto de café.

Como plantea Cuadra y Alvarado (2011) en fincas pequeñas orgánicas certificadas predomina el dosel bajo lo que coincide con los resultados de este trabajo siendo el dosel bajo el más representativo, también se constata la presencia de diversas especies generadores de otros ingresos diferentes al café como maderable y frutal.

El SAF ERS presentó la mayor proporción de árboles maderables (*Swietenia*, *Platymiscium*, *Cordia* y *Tabebuia*) y la segunda mayor altura promedio (12.75 m) después del SAF JM lo que podría tener relación con ser el SAF con mayor porcentaje de sombra (91.26 %) no así el SAF RE que entre los géneros *Inga*, *Citrus* y *Psidium* representan más del 50 % de los árboles en el agroecosistema y la segunda menor en altura promedio de árboles con 10.59 m, la abundancia de este tipo de géneros podría tener relación con ser el SAF con el porcentaje de sombra más bajo (70.46 %).

5.4.11 Contribución del manejo del SAF a los principios agroecológicos

En el cuadro 11, se observa que los cuatro SAF contribuyen a los principios agroecológicos con una valoración cualitativa de alta gestión de manejo orgánico (A). De forma cuantitativa el SAF RE presentó en promedio la mayor contribución (0.76), seguida por PE (0.75) y posteriormente se ubican los promedios de los SAF JM (0.65) y ERS (0.62), respectivamente, ver anexo (22).

Cuadro 11. Contribución de prácticas de manejo a los principios agroecológicos en cuatro SAF con café bajo manejo orgánico

Principios agroecológicos	JM	ERS	PE	RE
Mejorar reciclaje	0.59	0.60	0.83	0.85
Mejorar biodiversidad	0.59	0.60	0.82	0.69
Manejo ecológico del suelo para mejorar su fertilidad y actividad biológica	0.76	0.68	0.85	0.75
Manejo del suelo para su conservación	0.76	0.80	0.90	0.87
Manejo ecológico de plagas y enfermedades	0.62	0.64	0.69	0.80
Bases culturales o antropogénicas	0.57	0.43	0.43	0.57
Promedio total	0.65	0.62	0.75	0.76
Escala cualitativa (0.61 – 0.8)	A	A	A	A

A: alta gestión de manejo, basado en los principios agroecológicos (0.8 – 0.61)

En el principio de mejorar reciclaje destacan los SAF de altitud media, siendo el SAF RE quien presentó los mayores valores de artrópodos, microorganismos, lombrices, cobertura de suelo por hojarasca y biomasa sobre el suelo, además de carbono por arbustos de café y mantillo.

En el principio de mejorar la biodiversidad destacan los SAF de altitud media, siendo el SAF PE quien presentó la mayor diversidad en variedades de café y microorganismos (hongos, bacterias y nemátodos), segundo en índice de diversidad arbórea con Shannon - Wiener y artrópodos del suelo.

En el principio manejo ecológico del suelo para mejorar su fertilidad y actividad biológica destacan el SAF PE seguido por JM. El SAF PE presentó altos valores con respecto a materia

orgánica y nitrógeno del suelo, cobertura por hojarasca, menor pendiente de los cuatro SAF y la mayor diversidad de microorganismos y abundancia de artrópodos, también labores de abonado y limpieza manual del sistema.

Principio manejo del suelo para su conservación resaltan los SAF de altitud media siendo PE quien presenta la menor pendiente, así como menor suelo descubierto, segundo en cobertura de suelo por hojarasca, además de aplicar cuatro de las cinco técnicas de conservación y mejora de suelo para una producción agroecológica según la NTON 11-037-12 en p. 40.

En el principio ecológico de plagas y enfermedades de igual manera destacan los SAF de altitud media. El SAF RE presentó los mayores valores de géneros de microorganismos benéficos, la menor cantidad de géneros de microorganismos y artrópodos identificados como plaga, además de presentar el menor porcentaje de sombra y la mayor cobertura del suelo por hojarasca, café joven de 13 años, aunque no el más joven.

El principio de las bases culturales o antropogénicas a lo que también se le puede llamar etnocultura destacaron de igual manera los SAF JM y RE, específicamente en que son los SAF donde los hijos del productor tienen mayor participación en las labores de manejo del agrosistema, así como la contratación de mano de obra femenina para apoyar las labores de manejo del sistema agroforestal con café.

Finalmente, los SAF de los señores Remigio Espinoza y Pascual Espinoza, ambos referidos como de altitud media cercana a los 900 msnm se identificaron como los que más contribuyeron a los principios agroecológicos específicamente en reciclaje, biodiversidad, manejo del suelo para su diversificación y manejo ecológico de plagas y enfermedades

VI. CONCLUSIONES

Obtenidos los resultados de investigación y habiéndose sometido a una etapa de discusión y análisis se concluye que:

Los SAF con café disponen con 4.23 a 2.81 ha, suelos arcillosos con altos niveles de nitrógeno y potasio, pero bajos en fósforo y pendientes mayores a 26.8 %. Café con menos de 4 744 plantas por ha⁻¹ y 8 a 30 años y dispuestos bajo sombra de entre 416 a 60 árboles por ha. La familia fue la mano de obra principal excepto, durante la cosecha, podas y abonado.

Se encontró que el componente suelo en los SAF, es el que más carbono almacena en promedio con 80.86 t ha⁻¹ C, seguido de los árboles con 15.58, mantillo 6.21 y arbustos de café con 1.22, respectivamente. El SAF con mayor aporte de carbono almacenado fue PE con 119.22 t ha⁻¹ C.

Los cuatro SAF presentaron un índice de diversidad media del componente arbóreo con valores de 2.53 a 2.08 utilizando Shannon – Wiener, identificándose 19 familias y 30 especies. Los SAF de altitud media fueron más diversos en órdenes y subfilum de artrópodos, géneros de microorganismos y densidad de lombrices.

Los cuatro SAF presentaron alta gestión de manejo, sin embargo, se identificó a los SAF de altitud media como los que más contribuyeron a los principios agroecológicos, específicamente en reciclaje, biodiversidad, manejo del suelo para su conservación y manejo ecológico de plagas y enfermedades.

VII. RECOMENDACIONES

Aumentar el nivel de tecnificación del sistema agroforestal manteniendo densidad máxima de cafetos, aumentar y mejorar la efectividad de obras de conservación de suelos y aguas, manejar porcentaje de sombra recomendado y renovar los cafetales según su vida útil, además de mejorar el abonado de material orgánico al sistema agroforestal y realización de actividades en tiempo y forma

Para la Cooperativa Tierra Nueva, implementar este tipo de estudios a mayor número de sistemas agroforestales, de forma que le permita disponer de un respaldo formal para generar y gestionar proyecto de pago por servicios ambientales

Permitir a los hijos y esposa del productor mayor participación en las actividades de manejo y toma de decisiones referentes al SAF

VIII. LITERATURA CITADA

- Acuña González, P. y Betanco Velásquez, W. (2007). Evaluación de la incidencia natural de *Beauveria bassiana*, sobre *Hipothenamum hampei* (Ferrari) y *Leucoptera coffeella* (Guerin – Meneville) en el cultivo del café en dos zonas cafetaleras de Nicaragua
- Agrios, G. N. (2005). Fitopatología. Ed. Limusa. México. P. 838
- Aguilar, Bustamante, V. (diciembre 2013). Análisis de datos de ensayos de descomposición y mineralización de residuos de malezas en café usando canastas. *La Calera. Vol. (13)* 21
- Aguilar, Bustamante, V. (enero 2007). Metodología para implementar un manejo selectivo de malezas y coberturas en cultivos perennes y sistemas agroforestales de Nicaragua. *La Calera. Año 6 N°7. P. 42-50*
- Aguilar, Bustamante, V. (octubre 2005). Análisis y datos provenientes de ensayos de descomposición y mineralización de residuos vegetales. *La Calera, Año 5. N°6. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA. p. 50-54*
- Altamirano, Tinoco, J. A. (2005). Biomasa y nutrientes de mantillo en diferentes sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en el municipio de Masatepe, departamento de Masaya. Tesis pregrado). Nicaragua. Universidad Nacional Agraria. <https://repositorio.una.edu.ni/1977/1/tnf61a465.pdf>
- Altieri. M. (2001, p. 28, 29). Agroecología, principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables. <https://drive.google.com/file/d/1Igrx9hKSpnBBarrU6AEHumtxJfwmwCUw/view>
- Alvarado, J. Andrade H. J. y Segura, M. 2013. Almacenamiento de carbono orgánico en suelos en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en el Municipio del Líbano, Tolima, COLOMBIA. *Colombia Forestal. Volumen 16 (1)*. <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v16n1/v16n1a02.pdf>
- Andrade, Hernan, 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>
- Arcila, P. J. Farfán, V. F. Moreno, B. A. M. Salazar, G. L. F. Hincapié, G. E. (2007). Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná. CENICAFE. 309 p.

- Argüello Guerrero, A. C. y Olivero Palma, M. I. (2015). Análisis de la cadena de valor del café convencional período 2012-2013. Tesis pregrado. UNAN-Managua.
- Argüello, Chávez, H. (noviembre 2017). Aspectos bioecológicos y de manejo de gallina ciega (*Phyllophaga spp.*), en la producción de cacao (*Theobroma cacao*) en Rio San Juan, Nicaragua. *La Calera*. Vol. (17) 29. P. 63-67
- Aristizabal, Javier Darío. 2011. Desarrollo de modelos de biomasa aérea en sombríos de cafeto (*Coffea arabica* L.) mediante datos simulados. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 14 (1): 49-56
- Barnett, H.L., and Hunter, B.B. 1999. Illustrated genera of imperfect fungi. Fourth Edition. Minnesota, USA. APS Press, The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota. 218 p.
- Barrera, J. F. Herrera, J. Gómez, J. (2008). Fluctuación de la población de adultos de *Rhabdopterus jansonii* Jacoby (Coleoptera: Chrysomelidae) en cafetales del Soconusco, Chiapas, México. *Entomología Mexicana*. Vol. (7) p. 246 – 251
- Bravo Velásquez, E. (septiembre 2013). Apuntes sobre la biodiversidad de Ecuador. Universidad Politécnica Salesiana. Tomo 28. BID
- Buitrago, Trujillo N. 2005. Evaluación del potencial hídrico del entorno de la Ciudad de Boaco. Tesis Maestría, UNAN-Managua. Consultado el 04 de junio del 2013, disponible en: <http://www.cira-unan.edu.ni/media/documentos/NBuitrago.pdf>.
- CATIE, 2002. Inventario forestal para bosques latifoliados en América Central. Serie Técnica N° 50. P. 204
- CATIE, 2009. ¿Cómo podemos mejorar la finca cafetalera en la Cuenca? Elías de Melo Virginio Philo, Mirna Barrios. et, al. 72 p. 1 ed. Managua
- CATIE, CIRAD, CONSERVATION INTERNATIONAL. (Julio 2016). Informe proyecto CASCADA. Efecto de los árboles de sombra sobre el suelo, en sistemas agroforestales con café incluyendo la fenología y fisiología de los cafetos.
- CENICAFE (julio 2011). Minador de las hojas del cafeto. Una plaga potencial por efectos del cambio climático. Avances técnicos N° 409. p. 12
- Centeno, Ramírez, T. E. Herrera, Hernández, D. Y. 2005. Caracterización y suelos de los sistemas cafetaleros en la zona baja húmeda de Matagalpa. Tesis pregrado. UNA-Managua NI. 64p

CETREX, 2020. <https://www.cetrex.gob.ni/Portalestadistico/reports/PDF>

Chavarría, Bolaños, N. Tapia, Fernández, A.C. Virgínio Filho, E. M. (julio 2012). Efecto de diferentes sistemas de manejo sobre la calidad del suelo, en fincas cafetaleras en la zona de Turrialba y Orosi. *INTERSEDES. Vol. (XIII) 26*. p. 85 - 105

Climate-data.org. (s.f.). Clima de Boaco. <https://es.climate-data.org/america-del-norte/nicaragua/boaco/boaco-30644/>

Connolly, Wilson, R. Y. y Corea, Siu, C. A. (2007). Cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en sistema agroforestal y forestal en seis sitios de cuatro municipios de Nicaragua. Tesis pregrado. Universidad Nacional Agraria. NI

Crozzoli, R. 2014. La nematología agrícola en Venezuela. Maracay, Venezuela. Servicios Gráficos Facultad de Agronomía Universidad Central de Venezuela. 536 p.

Cuadra, Mayorga, L. C. y Alvarado, Narváez, U. P. 2011. Evaluación de tres servicios ambientales de café agroforestal en fincas con diferentes tipos de manejo ubicadas en el Macizo de Peñas Blancas, Jinotega – Matagalpa. Tesis. UNA

El Nuevo Diario (22 de abril 2013). Café orgánico con resultados exquisitos. Nicaragua quinto exportador mundial, según OIC. <https://www.elnuevodiario.com.ni/economia/283819-cafe-organico-resultados-exquisitos/>

ENVIO DIGITAL (marzo 2013). El café en los tiempos de la roya. N°372. <https://www.envio.org.ni/articulo/4653>

Espinoza, R. (12 de Noviembre de 2011). Información de la Cooperativa Tierra Nueva. (E. F. Ortega Tórrez, Entrevistador)

FAO, (2020, p. 1). Centro de conocimientos sobre agroecología. Panorama general. <http://www.fao.org/agroecology/overview/es/>

Fernández, Alés, R. y Leva Morales, M. J. (2003). Ecología para la agricultura. ed. MUNDI PRENSA

- Ferreira Sales, E. (2012). Sistemas agroforestales en cafetales: Una propuesta de transición agroecológica de la caficultura en el estado de Espírito Santo, Brasil. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. BR.
- Filho, V. De Melo, E. Astorga, Domian, C. (2015). Prevención y control de roya del café. Manual de buenas prácticas para técnicos y facilitadores. Serie técnica N° 131. CATIE. CR
- Franco Correa, M. (2009). Utilización de actinomicetos en procesos de biofertilización. Pontificia Universidad Javeriana Bogotá, Colombia. Rev. Perú. Biología. 16(2): 239 – 242 (diciembre 2009)
- García, Arboleda, M. y Barrera, Marín, N. (Julio – diciembre 2019). Diversidad de artrópodos en tres sistemas de manejo agronómico de café en el municipio de Líbano, Tolima, Colombia. RIAA. Vol. (10) 2. p.37- 49
- GCE, sf. Manual para el sector del uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS). Consultado el 12 enero 2011. <https://unfccc.int/sites/default/files/11-bis-handbook-on-lulucf-sector.pdf>
- George, A. (2006). Estudio comparativo de indicadores de calidad de suelo en fincas con café orgánico y convencional en Turrialba, Costa Rica. Tesis Maestría. CATIE. CR.
- Gómez Cruz, G. Corlay Chee, L. (2014). Microbiota edáfica y su importancia en la agricultura. En F. A. Microbiología agrícola. p. 568. México. Trillas S. A.
- Gómez de Jesús, A. Rosales-Esquinca, M.A., Lizardi-Jiménez, M., Treviño-Quintanilla, G., Reyes-Reyes, C., Castañón-González, H., Barrales-Cureño, H. (2018). Aislamiento e identificación de una Cepa de *Serratia marcescens* degradadora de ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-d). *Agroproductividad*. Vol. (11), Núm. 4. Recuperado de <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/281/208>
- Guharay, F. Monterrey, J. Monterroso, D. Staver C. (2000). Manejo integrado de plagas en el cultivo del café. CATIE. Ed. 1. Managua. P. 272
- Huarauya, Aguirre, M. M. (2014). Determinación de macrofauna en suelos de cafetales (*Coffea arabica* L.) en Santa rosa Tealera, distrito Hermilio Baldizan. Tesis pregrado. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Perú

- Ibarra González, V. P. Ramírez Urrutia, C. Soza Rivera, J. R. (2004). Estrategias de grandes, medianos y pequeños productores para buscar la competitividad del cultivo del café. Pregrado. UNAN-CURC Matagalpa.
- Incer Barquero, J. 2000. Geografía Dinámica de Nicaragua. 2da. Ed. Managua. HISPAMER, 281 pag. CEDOC-UNA/Camoapa.
- INIDE, 2008. Anuario (http://www.inide.gob.ni/estadisticas/Cifras%20municipales%20a%C3%B1o%202012%20INIDE.pdf)
- Instituto de Desarrollo Agropecuario (IDAP) y FAO. 2018. Manual de transición agroecológica para la agricultura familiar campesina. Manuales y cursos. Serie 12
- Jiménez Martínez, E.S. y Rodríguez Flores, O. (2014). Insectos plagas de cultivos en Nicaragua. 1aed. Managua. UNA. p. 226
- Lara Hernández, M. E. y Ferrera Cerrato, R. (2014). Mecanismos microbianos en el control biológico. . En F. A. Microbiología agrícola. p. 568. México. Trillas S. A.
- Larios, González, R.C. Salmerón, Miranda, F. García, Centeno, L. (diciembre 2014). Fertilidad del suelo con prácticas agroecológicas y manejo convencional en el cultivo del café (*Coffea arabica* L.). *La Calera*. Vol (14) 23. P. 67-75
- Leiva, Granados, E. R. (2011). Efectos del marco político, legislativo en el aprovechamiento de la madera en sistemas agroforestales del Municipio El Cuá, Nicaragua. Tesis Maestría. CATIE. CR
- Lohier, V. (2016). Potencialidad para la intensificación agroecológica en sistemas agroforestales con cacao y café en los departamento norte y noreste de Haití. Tesis Maestría. CATIE. C.R.
- López, Franco J., et. al., (2013). Ecología y conservación. Laboratorio y campo. México. TRILLAS
- Lumbreras, A. J., Garmendia, Salvador, A. Delgado, J. A. (2008). Introducción Práctica a la Ecología. PEARSON EDUCACION S.A. Madrid. p. 574

- MAGFOR, IICA y CONCACAFE (octubre 2008). Programa de reconversión y diversificación competitiva de la caficultura nicaragüense y seguridad alimentaria. Documento 1 perfil del programa
- Martínez Carazo, P. C. (Julio 2006). El método de estudio de caso. Estrategia metodológica de la investigación científica. *Pensamiento & Gestión*. Vol. 20. Universidad del Norte p. 165-193. <https://www.redalyc.org/pdf/646/64602005.pdf>
- Medina, Benavides, C., Calero, Gómez, C., Hurtado H. y Vivas, Soto, E. (Julio 2009). Cuantificación de carbono en la biomasa aérea de café (*Coffea arabica* L.) con sombra, en la comarca Palo de Sombrero, Jinotega, Matagalpa. *La Calera*. Año 9, 12. P. 28-34
- Medina, Benavides, C., Pérez, Z. M. y Ruíz Q. J. (junio 2008). Cuantificación del carbono almacenado en suelo de café (*Coffea arabica* L.) con sombra en la comarca Palo de Sombrero, Jinotega, Nicaragua. *La Calera*. Vol. (8) 10. P. 33-39
- Medina, V; Muñoz, C; Hagggar, J; Aguilar, R. 2008. Propuesta Metodológica para la Evaluación de Servicios Ambientales. ANACAFE (Asociación Nacional del Café). Managua, NI, 17 p. Citado el 08 de junio del 2013. http://web.catie.ac.cr/cafnet/otros_doc/HAGGAR_Metodolog.pdf
- Montané de la Vega, R. (2015). Ecología y conservación ambiental. 2° ed. México. TRILLAS. (p. 44).
- Montagnini, F. Somarriba, E. Murgueitio, E. Fazzola, H. Eibl, B. (2015). Sistemas agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. Serie técnica. Informe técnico N° 402. Colombia. C.R.
- Moraga, Quezada, P. Bolaños, Taleno, R. Pilz, M. Munguía, Hernández, R. Jürgen, Pohlen, H. Barios, M. Hagggar, J. Gamboa, Moya, W. (diciembre 2011). Árboles de sombra e intensidad del cultivo afectan el rendimiento de café (*Coffea arabica* L.) y la valoración ecológica en Masatepe, Nicaragua. *La Calera*. Vol. (11) 17. P. 41-47

- Morán, J. Benavides, González, A. (mayo 2015). Diagnóstico de suelos en cultivo de café (*Coffea arabica* L.), Maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), comunidad de Santa Julia, el Crucero, Managua. *La Calera*. Vol. (15) 24. P. 26-30
- Moreno Melgara, H. U. (2013). Efecto de la combinación de árboles de sombra con manejo orgánico y manejo convencional sobre el banco de semillas de café (*Coffea arabica* L.), Masatepe, Masaya, 2009
- Moreno Reséndez, Alejandro, Carda Mendoza, Verónica, Reyes Carrillo, José Luis, Vásquez Arroyo, Jesús, & Cano Ríos, Pedro. (2018). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 20(1), 68-83. <https://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n1.73707>
- Munguía, Hernández, R. Hagar, J. Ponce, Silvio, A. (marzo 2010). Cambios en la fertilidad del suelo, producción de biomasa y balance de nitrógeno en sistemas agroforestales con café en Nicaragua. *L Calera*. Año 10. N°14. P.5-12
- Naturland (mayo 2019). Normas de Naturland. Producción. https://www.naturland.de/images/SP/Naturland_SP/Normas/Naturland-Normas_AGRICULTURA-organica.pdf. p. 54
- Nicholls, C. I., Altieri, M. A., Vásquez, L. L. (2015, p. 61). Agroecología, principios para la conversión y el rediseño de sistemas agrícolas. *Agroecología*. Vol. 10. p. 61-72
- NOM – 021 RECNAT, (2000). Norma oficial Mexicana. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. 2° ed. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>
- NTON 18-001-04, (2004). Norma técnica para el manejo sostenible de los bosques tropicales latifoliados y de coníferas. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/nic66077.pdf>
- NTON 11-037-12 (2013). Norma técnica obligatoria nicaragüense. caracterización, regulación y certificación de unidades de producción agroecológica. <http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/b92aaea87dac762406257265005d21f7/32d6ad99d191b0fe06257bc200799142?OpenDocument>
- NTON 11-045-14. (05 de abril, 2016). Certificación de semilla sexual de café (*Coffea arabica* L.). <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/nic163688.pdf>

- Obregón Hernández, A. M. Porras Mendoza, B. J. (2020). Caracterización socioeconómica y biofísica de cuatro unidades de producción agrícola, microcuenca San Antonio de Sisle, Jinotega, Jinotega, 2019. Tesis pregrado. UNA
- Oddó, David, & Díaz, Yobani. (2019). *Sarcina ventriculi*. *Revista chilena de infectología*, 36(1), 41-42. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182019000100041>
- OIC, 2013. Informe acerca de la misión técnica interagencial a Nicaragua. Análisis de la caficultura en Nicaragua 24-27 de junio 2013. P15
- Palomeque, Figueroa, E. (2009). Sistemas agroforestales. Huehuetán. Chiapas. México. <https://drive.google.com/file/d/1tGKfgLrHYdmvpyXEBuzcTBrMro3J5Xb/view>
- Pérez Nieto, Joel, Valdés Velarde, Eduardo, & Ordaz Chaparro, Víctor M. (2012). Cobertura vegetal y erosión del suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra. *Terra Latinoamericana*, 30(3), 249-259
- Pérez, Mijaíl, A. (2004). Aspectos conceptuales, análisis numérico, monitoreo y publicación de datos sobre biodiversidad. MARENA, NI. p. 339
- Pérez, Rodríguez, M. D. (2015). Medio ambiente y gestión forestal. ICB editores. España.
- Picard, N. Saint-André, L. Henry, M. (2012). Manual de construcción de ecuaciones alométrica para estimar el volumen y la biomasa de los árboles. Del trabajo de campo a la predicción. FAO. CIRAD
- Pico Rosado, Jimmy Trinidad. 2014. Efecto de la sombra del café y el manejo sobre la incidencia, severidad, cantidad de inóculo y dispersión de *Hemileia vastatrix* en Turrialba. Costa Rica. Tesis postgrado. CATIE. CR.
- Pineda, Barría, J.A. 2012. Alternativas de manejo forestal para bosques primarios muy intervenidos: Estudio de caso en Finca Elia María, Los Chiles, Costa Rica. Tesis MSc. CATIE, Turrialba, C.R
- Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31(8), 583-590. Recuperado en 20 de julio de 2020, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006000800008&lng=es&tlng=es

- Porras, Vanegas, C. M. (2006). Efecto de los sistemas agroforestales de café orgánico y convencional sobre las características de suelo en el Corredor Biológico Turrialba – Jiménez, Costa Rica. Tesis Maestría. CATIE.CR
- RAE. (2020). Definición de caracterizar. <https://dle.rae.es/caracterizaci%C3%B3n>
- Ramírez Gama, R. M. (2014). Historia de la microbiología del suelo en México. En F. A. Microbiología agrícola. p. 568. México. Trillas S. A.
- Rueda, Martínez, D. M. Varela, A. (mayo 2016). Distribución espacial, composición y densidad de edafofauna en hojarasca de bosque y cafetal (Montenegro, Colombia). Acta Biológica Colombiana. Vol. (21) 2. p.399 – 412
- Ruiz, Sánchez *et. al.*, 2003. *Serratia marcescens*: de patógeno oportunista al control de insectos que afectan cultivos agrícolas. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/236165398_Serratia_marcescens_de_patogeno_oportunista_al_control_de_insectos_que_afectan_cultivos_agricolas
- Ruiz-Guevara, N. Delgado-Rodríguez, D. Carrera-Gambetta, F. (2020). Tecnologías para el monitoreo de impactos y emisiones de carbono del aprovechamiento forestal y de la trazabilidad de la madera de bosques naturales en Latinoamérica y el caribe. BID, FMAM, CATIE
- SAGARPA y SENASICA (abril 2016). Ficha técnica N°40. Roya del cafeto *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broom. p. 23
- Salazar Hinostroza, E. J. (2012), Cuantificación del carbono en la biomasa aérea de tres diferentes usos de la tierra en la cuenca de Aguaytía sectores: Irazola, Curimaná y Campo verde- Región Ucuyali. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Perú. Tesis pregrado
- Salgado Mora, M. G. Ruíz Bello, C. Moreno Martínez, J. L. Irena Martínez, B. Aguirre Medina, J. F. (febrero 2018). Captura de carbono en biomasa aérea de árboles de sombra asociados a *Coffea arabica* L. en el Soconusco Chiapas, México. *Agroproductividad* Vol. (11) 2. p. 120-126
- Sampieri, Hernández, R. 2014. Metodología de la investigación. Mc Graw W- Hill. Sexta Ed. p. 600
- Sarandon, S. y Flores, C. 2020. Agroecología (América latina 1989 – 2020). <http://www.leisa-al.org/web/>
- Schaad, N.W., Jones, J.B., and Chun, W. 2015. Laboratory guide for identification of Plant Pathogenic Bacteria. Fourth printing. The American Phytopathological Society. 373 p.

- Sermeño Chicas, J.M., Serrano Cervantes, L., Parada Jaco, M.E., Joyce, A.L., Maldonado Santos, E.J., Alvanes Leiva, Y.A., Rodríguez Sibrían, F.M., Girón Segovia, C.D., García Sánchez, D.A., Hernández León, C.E., Rivas Nieto, F., Rivera Mejía, F.A., Parada Berríos, F.A., Rodríguez Urrutia, E.A., Vásquez Osegueda, E.A., Lovo Lara, L.M. 2019. Diversidad de artrópodos y sus enemigos naturales asociados al café (*Coffea arabica* L.) en el Salvador. Ed. Universitaria. Universidad del Salvador. Facultad de Ciencias agronómicas. C.A. 248 p.
- Suárez, D. Segura, M. Kanninen, M. (2004). Estimación de la biomasa aérea total en árboles de sombra y plantas de café en sistemas agroforestales en Matagalpa, Nicaragua, usando modelos alométricos. *Agroforestería de las Américas*. N° 41 – 42
- Sutton, D.B. (1996). Fundamentos de Ecología. ed. LIMUSA
- Terán Ramírez, M. A. Rodríguez, Ortiz, G. Enríquez del Valle, J. R. Velasco, Velasco, V. A. (enero 2018). Biomasa aérea y ecuaciones alométricas en un cafetal de la sierra norte de Oaxaca. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. Vol. (5) 14. p. 217-226
- Umanzor, Barrantes, D. J. (2016). Cuantificación de carbono almacenado en árboles de sombra en tres lotes en un sistema de café, en el centro experimental ICIDRI – Masatepe, UPOLI. Tesis pregrado. Universidad Nacional Agraria. NI
- UNA. (2004). Guía de lombricultura. Guía técnica N°4. <https://repositorio.una.edu.ni/2409/1/nf04s693.pdf>
- Valkila, J. 2009. Fair Trade Organic Coffee Production in Nicaragua-Sustainable development or a poverty trap? Consultado el 01 de septiembre 2015. Recuperado de: Ecological Economics. Doi, Volume 68, Issue 12, 15 octubre 2009. Pag 3018-3025
- Vargas Urbina, J. E. Laguna Ramírez, M. J. (2017). Diversidad de la macrofauna del suelo en relación al diseño y manejo de los agroecosistemas cafetaleros en Matagalpa, Nicaragua 2016. Tesis pregrado. Universidad Nacional Agraria, Nicaragua
- Vásquez, Vela A. L. M. (2014). Valoración comparativa de la macrofauna de lombrices en sistemas agroforestales de café orgánico y convencional en contraste con cultivos en pleno sol y bosque, durante la época lluviosa y seca en Turrialba, Costa Rica. Tesis Maestría. CATIE.CR.

Villavicencio, Enríquez, L. y Valdez, Hernández J. I. (julio-agosto 2003). Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rusticano de café en San Miguel, Veracruz, México. *Agrociencia*. Vol (37) 4 p. 413-423

Wikipedia, (2020). Índice de Shannon Wiener. Wikipedia
https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%8Indice_de_Shannon

World 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 "

World Coffee Research. 2017. Las variedades de café de Mesoamérica y el Caribe. 38 p. Recuperado de: <https://worldcoffeeresearch.org/work/coffee-varieties-mesoamerica-and-caribbean/>

Zapata Arango, Piedad Cecilia (abril/junio, 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. 685-697

IX. ANEXOS

Anexo 1. Formato de entrevista aplicada al productor



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
MAESTRIA EN AGROECOLOGIA Y DESARROLLO SOSTENIBLE
TESIS: Caracterización del estado agroecológico de cuatro sistemas agroforestales con café bajo manejo orgánico, Departamento de Boaco, 2011

Objetivo: Describir los sistemas de producción de café orgánico de los SAF en estudio

I. CARACTERISTICAS GENERALES

- 1.1 Nombre del productor (a): _____ 1.2 Fecha: _____
- 1.3 Nombre de la Finca: _____ 1.4 Tenencia de la tierra _____
- 1.5 Cedula: _____ 1.6 Comarca: _____
- 1.7 Municipio: _____ 1.8 Departamento: _____
- 1.9 Altitud de la finca (msnm): _____ 1.10 Área de la finca (mz): _____
- 1.11 Pendiente de la finca (%): _____ 1.12 Distancia de la finca al municipio más cercano (km): _____
- 1.13 Tipo de vías de acceso hacia la finca: asfaltada embalstrada camino todo tiempo
 camino temporal trocha
- 1.14 Años de tener la finca _____ 1.15. Años de trabajar con café. _____ 1.16. Años de trabajar con café orgánico _____

II. ASPECTOS SOCIALES

2.1 Estructura de la familia

Categoría	Edad (años)	No. De personas	Actividad a la que se dedica	Escolaridad alcanzada
Lactante	0 – 1		Principal Temporal	Primaria Secundaria otros
Niños	1 – 3			
	4 – 6			
	7 – 10			
Hombres	11 – 14			
	15 – 18			
	19 – 22			
	23 – 50			
	> 50			

- Mujeres** 11 – 14
 15 – 18
 19 – 22
 23 – 50
 > 50

2.2 Capacitaciones recibidas durante el presente año por parte de la Cooperativa Tierra Nueva

N°	Temática en la que participo	Productor	Espos	Hijo
1	Llenado del libro de registro y elaboración del plan de			
2	Aplicar en base a libro de registro la rentabilidad del cultivo del café			
3	Hortalizas de patio “Chile Tabasco”			
4	Día de campo “Elaboración de Caldo Viscosa”			
5...			

2.3. Disponibilidad de servicios

2.3.1	Telefonía	<input type="checkbox"/>	Fija	<input type="checkbox"/>	Celular
2.3.2	Radioeléctrica	<input type="checkbox"/>	Radio	<input type="checkbox"/>	Televisión
2.3.3	Electricidad	<input type="checkbox"/>	Convencional	<input type="checkbox"/>	Solar
2.3.4	Servicios de salud	<input type="checkbox"/>	Pública	<input type="checkbox"/>	Privado

2.4: Estado de la salud.

2.4.1. Enfermedades más frecuentes que padecen?

2.4.2. Mes del año con más frecuencia

2.4.3. Tipo de tratamiento aplicado (convencional, natural, ninguno)

2.4.4. Cuantas veces al año son visitados por brigadas medica _____

2.5. CONDICIONES DE LA VIVIENDA:

2.5.1. Condición de la vivienda	2.5.2. Con techo de:	2.5.3. Tipo de pared	2.5.4. Tipo de piso
<input type="checkbox"/> Propia	<input type="checkbox"/> Zinc	<input type="checkbox"/> Ladrillo	<input type="checkbox"/> Ladrillo de barro
<input type="checkbox"/> Alquilada	<input type="checkbox"/> Teja	<input type="checkbox"/> Adobe	<input type="checkbox"/> Embaldosado
<input type="checkbox"/> Prestada	<input type="checkbox"/> Paja	<input type="checkbox"/> Caña de maíz	<input type="checkbox"/> Tierra

Familiar _____ Plástico Ladrillo normal

2.5.5. Fuente de agua

Fuente	Disponibilidad		Domestico	Usos	
	Temporal	Intermitente		Agrícola	Pecuario
Rio					
Pozo					
Ojo de agua					
Quebrada					
Riachuelo					

2.6. Participación comunitaria

Participa en alguna forma organizacional?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	
Tipo de organización a la que participa	<input type="checkbox"/> Cooperativa	<input type="checkbox"/> Asociación	<input type="checkbox"/> Comunitaria
Nombre la cooperativa o asociación a la que pertenece actualmente.	<input type="text"/>		
Puesto que ocupa como agremiado	<input type="text"/>	Cuántos años tiene en participar? <input type="text"/>	
Si está insatisfecho, mencione tres problemas más apremiantes.	<input type="text"/>		

III. ASPECTOS ECONOMICOS

3.1. Usos de la tierra en la unidad de producción

Uso de la tierra	Tenencia de la tierra			Total (mz)
	Propia	Medias	Arriendo	
Área Agrícola				
a.- Cultivos anuales				
b.- Frutales				
c.- Café				
d.- Otros				
e.- Semiperennes				
Área Ganadera				
a. Pastos cultivados				
b. Pastos naturales				
c. Pasto de corte				
d. Tacotales				
Bosque				

Infraestructura
Otros (especifique)

Total

3.2. Sistema de cultivos

3.2.1. Evolución de los rendimientos

Rubro	Época	Unidad de Medida	Rendimiento por área			El Mejor año (porqué)	El Peor año (por qué)
			2011	2010	2009		

3.2.2. Destino del producto

Rubro

Época

Variedad

Rendimiento ()

Producción total ()

Precio de venta ()

Para autoconsumo ()

Donde vende el producto

3.2.3. Itinerario técnico por cultivo de _____

Actividad	Fecha	MO contratada (dh)	Costo MO	MO familiar (dh)	Insumos aplicados	Dosis empleada (mz)	Costo insumos	Costo Total
-----------	-------	--------------------------	-------------	------------------------	-------------------	------------------------	------------------	----------------

3.2.4. Itinerario técnico por cultivo de _____

Actividad	Fecha	MO contratada (dh)	Costo MO	MO familiar (dh)	Insumos aplicados	Dosis empleada (mz)	Costo insumos	Costo Total
-----------	-------	--------------------------	-------------	------------------------	-------------------	------------------------	------------------	----------------

3.2.5. Itinerario técnico por cultivo de _____

Actividad	Fecha	MO contratada (dh)	Costo MO	MO familiar (dh)	Insumos aplicados	Dosis empleada (mz)	Costo insumos	Costo Total
-----------	-------	--------------------------	-------------	------------------------	-------------------	------------------------	------------------	----------------

3.2.6. Itinerario técnico de bovino

Actividad	Fecha	MO contratada (dh)	Costo MO	MO familiar (dh)	Insumos aplicados	Dosis empleada (mz)	Costo insumos	Costo Total
-----------	-------	--------------------------	-------------	------------------------	-------------------	------------------------	------------------	----------------

3.2.7. Resultados producción bovina en época seca

Tipo de producto	Animales en producción	Producción diaria	Destino en litros Consumo	Venta	Producción promedio por vaca por día	Producción total	Precio del producto
------------------	---------------------------	----------------------	------------------------------	-------	--	---------------------	------------------------

3.2.8. Resultados de producción bovina en época húmeda

Tipo de producto	Animales en producción	Producción diaria	Destino en litros Consumo	Venta	Producción promedio por vaca por día	Producción total	Precio del producto
------------------	---------------------------	----------------------	------------------------------	-------	--	---------------------	------------------------

3.3. Ingresos extra agrícolas

Actividad que genera ingreso (no agropecuario)	Cuántos participan de la familia	Época	Cantidad de tiempo por año	Monto total (C\$)
--	----------------------------------	-------	----------------------------	-------------------

12.O En qué tipo de presentación entrega su café a la Cooperativa:

3.11 Qué tipo de mano de obra contrata más: varones _____ mujeres _____

3.12 Usted contrata niños menores de 12 años: si _____
no _____

3.13 Quien decide lo que debe hacerse en la finca:

dueño _____ los varones _____ los mayores _____ todos _____
otro _____

IV. ASPECTO ECOLOGICO

4.1 Año que adquiere la finca: _____ Área cuando adquirió la finca (mz) _____

4.2 Cultivos sembrados cuando adquirió la finca

4.2 Cultivos sembrados en 2011

12.O En los últimos cinco años a ampliado el área de café _____; En cuanta área (mz)

4.4 En el área de su finca se encuentran vertientes de agua: Si _____ No _____

12.O Cuantas vertientes existen actualmente: _____; Cuantas se han secado en cinco años: _____ -

4.6 Como considera la productividad del suelo de su finca cuando la adquirió?
 Altamente productivos Medianamente productivos Poco productivos

4.7 Como considera la productividad del suelo de su finca hoy que cuando la adquirió?
 Altamente productivos Medianamente productivos Poco productivos

4.8 Que animales (aves, reptiles, felinos, otros) no observa en el campo ahora que antes los veía.

4.9 Aprovecha animales silvestres para el consumo de su familia: SI _____, NO _____

4.10 Que animales (aves, reptiles, felinos, otros) caza para la alimentación de su familia.

4.11 Que arboles han desaparecido por efecto de la deforestación en su finca

4.12 Ha establecido más árboles ahora que cuando adquirió la finca: SI _____ ; NO _____

4.13 Topografía dominante en el área de la finca

Plan Ondulada Inclinada Quebrada Irregular

V. ASPECTO DE MANEJO DEL SISTEMA AGROFORESTAL CON CAFÉ

5.1 Variedades establecidas en el cafetal

Caturra Catuai rojo Catuai amarillo Pacas
 Catrenic Bourbon Maragogipe

5.2 Densidad de plantas por mz

Edad de la plantación (años)

Distanciamientos de plantas (hilera y surco)

5.3 Especies de árboles en el cafetal como sombra

5.4 Poda el cafeto

 Sí No

Tipo de poda en el cafeto

5.5 Poda los árboles

 Sí No

Tipo de poda en árboles

5.6 Mes en que hace la poda

Que obtiene de la poda

5.7 Principales enfermedades que afectan su cafetal

Antracnosis
Mancha de hierro
Ojo de pescado
Mal de hilachas
Chasparria en frutos

5.8 Principales insectos dañinos que afectan su cafetal

Broca del café
Minador de la hoja

5.9 Practicas realizadas en el beneficio húmedo

¿Cuántas recolectas de café hace durante la cosecha?	Una	Dos	Tres	Cuatro
¿Cómo recolecto mi café?	Solo rojito	Rojos y pintos	Sin selección	
¿Cuánto paga a los recolectores de cosecha?	Según lo establecido por el MITRAB	Más de lo que señala el MITRAB	Lo que se paga en la zona	
¿Cuánto tiempo deja su café cortado sin despulpar?	Despulpo diario después del corte	Dos horas	Una noche	Un día
¿De dónde obtiene el agua para despulpar y lavar?	Traído por gravedad en tubos	Agua de pozo	De la quebrada	
¿Dónde despulpa?	En la finca	En el beneficio de un vecino	En el beneficio de la cooperativa/asociación	
¿Qué hace con la pulpa?	La compostea	La tiro a la quebrada	La amontono	La tiro fresca al cafetal
¿Qué hace con las aguas mieles?	La trato en filtros sumideros	Solo el primer agua va a los filtros	La uso para regar	La tiro a la quebrada
¿Cada cuánto calibra la despulpadora?	Varias veces durante el corte	Al inicio de la cosecha	Nunca	Cada vez que da problema

¿Cada cuánto revisa la camisa y el pechero?	Varias veces durante la cosecha	Al inicio de la cosecha	Nunca	Cada vez que da problema
¿Dónde fermenta el café?	En pilas de concreto	En cajón de madera	En saco	
¿Cómo determina el punto de fermentación?	Metiendo un palo	Por tacto	Por tiempo	
¿Cómo califica el café en el lavado?	En el correteo	Revisión manual	Quitando el flote	
¿Qué hace después del lavado?	Seco el café antes de venderlo	Orea el café antes de venderlo	Lo pongo mojado en sacos y lo vendo	
¿Dónde orea café?	En zarandas	En patio sobre plástico	Patio de concreto	

Anexo 2. Pendiente, coordenadas y altitud de los Sistemas agroforestales con café coordenadas

	Pendiente del cafetal (%)			Coordenadas		
	Promedio	Máxima	Mínima	Latitud N	Longitud O	Altitud (m)
JM	29.04	39.4	20.8	12°32'44"	85°38'20.93"	554
ERS	45.3	52.6	34	12°36'14.26"	85°38'60"	601
PE	26.8	35	18.4	12°34'26.86"	85°40'31.64"	890
RE	31.96	46	21.6	12°34'25.01"	85°40'32.61"	880

Fuente propia. Se utilizó el aparato "A" y navegador GARMIN e-Trex de 3 m de precisión

Anexo 3. Carbono almacenado por los árboles en los SAF con café (t ha⁻¹ C)

N ^o	Familias	Especies	JM	ERS	PE	RE	t C	t C	
1	Fabaceae	<i>Albizia adinocephala</i>	0.0 0	0	0.53	0.6 3	1.1 6	10.9 1	
		<i>Piscidia piscipula</i>	0.0 0	1.95	0	0	1.9 5		
		<i>Gliricidia sepium (Jacq) Stend</i>	0.0 0	3.11	0	0	3.1 1		
		<i>Platymiscium pleiostachium</i>	1.8 0	2.89	0	0	4.6 9		
		<i>Calliandra calothyrsus Meisn</i>	0.0 0	0	0	0.0 6	0.0 6		
2	Mimosaceae	<i>Inga spp.</i>	0.7 1	2.19	1.71	4.8 3	9.4 4	9.50	
3	Sterculiaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i>	1.3 3	1.17	0.0 0	0.1 5	2.6 5		2.70
4	Rutaceae	<i>Citrus sinensis</i>	0.0 0	0.71	0.06	0.2 4	1.0 1		1.70
		<i>Citrus paradisi</i>	1.7 3	0	0	0	1.7 3		
5	Apocynaceae	<i>Stemmadenia donnell-smithii</i>	0.1 2	0	0	0	0.1 2		0.10
6	Anacardiaceae	<i>Spondias mombin L.</i>	0.1 0	0	0	0	0.1 0	2.80	
		<i>Mangifera indica</i>	0.0 0	2.71	0	0	2.7 1		
7	Burseraceae	<i>Bursera simarouba</i>	0.3 4	0	0	0	0.3 4	0.30	
8	Boraginaceae	<i>Cordia alliodora</i>	0.2 9	1.56	0.9	1.0 7	3.8 2	3.80	
9	Lauraceae	<i>Persea 110mericana Mill</i>	0.0 0	1.73	0.02	0	1.7 5	1.70	
10	Meliaceae	<i>Trichilia spp.</i>	0.0 0	0.00	0.38	1.8 5	2.2 3	3.80	
		<i>Swietenia humillis</i>	0.0 0	1.56	0	0	1.5 6		
11	Myrtaceae	<i>Psidium guajaba</i>	0.0 0	0.11	0.53	4.7 5	5.3 9	5.40	
12	Verbenaceae	<i>Lippia myriocephala</i>	0.0 0	3.06	1	1.8 7	5.9 3	5.90	
13	Bignoniaceae	<i>Tabebuia rosea</i>	0.0 0	1.56	0	0	1.5 6	1.60	

N ^o	Familias	Especies	JM	ERS	PE	RE	t C	t C
14	Urticaceae	<i>Cecropia peltata</i>	0.0 0	0	2.53	0.4 8	3.0 1	3.00
15	Rubiaceae	<i>Cinchona officinalis</i>	0.0 0	1.39	0	0	1.3 9	2.90
		<i>Chomelia spinoza</i>	0.0 0	0	0.03	3.1 1	3.1 4	
16	ND	<i>Reopanax capitalis (Jacq)</i>	0.0 0	0	0.6	0.4 9	1.0 9	1.10
17	Ochnaceae	<i>Cespedesia macrophylla</i>	0.0 0	0	0.22	0.1 5	0.3 7	0.40
18	Melastomataceae	<i>Miconia spp.</i>	0.0 0	0	0	1.4 4	1.4 4	1.40
19	Combretaceae	<i>Terminalia intermedia</i>	0.0 0	0	0	0.5 8	0.5 8	0.60
t C almacenado			6.4 3	25.7 0	8.51	21. 7		59.6 1

Anexo 4. Cálculo de carbono almacenado por plantas de café (t C ha⁻¹) a partir de Biomasa por planta

	JM	ERS	PE	RE
Diámetro promedio (cm) por planta	2.54	1.82	3.00	3.79
Altura promedio (m) por planta	2.17	1.41	1.79	2.03
Plantas por muestra (50)	47	43.00	49.00	47.00
Fallas por muestra (50)	3	7.00	1.00	3.00
Plantas por ha	3 333	4 744.00	3 333.00	4 444.00
Fallas por ha	200	664.16.00	67.00	267.00
Plantas efectivas por ha	3 130	4 080.00	3 266.00	4 177.00
Promedio biomasa seca kg por planta	0.63	0.30	0.66	1.06
Biomasa seca kg por ha	1 979.20	1 224.00	2 155.56.00	4 427.62.00
Biomasa seca t por ha	1.98	1.22	2.16	4.43
Carbono almacenado t ha ⁻¹	0.99	0.61	1.08	2.215

La Biomasa seca t ha⁻¹ se multiplicó por el factor de carbono 0.5 (GCE, sf p. 42)

Anexo 5. Carbono almacenado por el mantillo (t C ha⁻¹)

SAF	Ps (kg)	F. C.	t. C ha ⁻¹
JM	13 211.73	0.5	6.61
ERS	11 629.42	0.5	5.81
PE	11 913.17	0.5	5.96
RE	12 933.72	0.5	6.47

F.C. = Factor carbono (IPCC, 2003, GCE, sf.)

Anexo 6. Peso seco del mantillo o Biomasa (t ha⁻¹)

SAF	TEJIDO	Pf (kg)	% m.s.	Ps (kg)	F. C.	t. C ha ⁻¹
JM	Hoja	4 633.00	92.79	4 298.81	0.5	2.15
	Rama	4 132.50	98.71	4 079.37	0.5	2.04
	Fraccionado	5 070.72	95.32	4 833.56	0.5	2.42
Total		13 836.22		13 211.73	0.5	6.61
ERS	Hoja	3 655.80	83.07	3 037.04	0.5	1.52
	Rama	2 757.60	93.45	2 576.93	0.5	1.29
	Fraccionado	6 826.40	88.12	6 015.46	0.5	3.01
Total		13 239.80		11 629.42	0.5	5.81
PE	Hoja	2 867.20	93.46	2 679.58	0.5	1.34
	Rama	4 964.80	61.48	3 052.35	0.5	1.53
	Fraccionado	7 556.00	81.81	6 181.24	0.5	3.09
Total		15 388.00		11 913.17	0.5	5.96
RE	Hoja	3 852.80	94.67	3 647.32	0.5	1.82
	Rama	5 123.60	91.65	4 695.96	0.5	2.35
	Fraccionado	5 376.80	85.38	4 590.45	0.5	2.30
Total		14 353.20		12 933.72	0.5	6.47

Anexo 7. Carbono almacenado en el suelo (t C ha⁻¹)

	Rango óptimo	JM	ERS	PE	RE
C.O. (%)	3-5.5	4.38	2.88	4.32	3.71
C.O.		0.0438	0.0288	0.0432	0.0371
Ps (cm)		20	20	20	20
Da (g cm ⁻³)		1.09	1.14	1.2	0.79
COS (t ha ⁻¹)		95.48	65.66	103.68	58.62

Andrade & Ibrahim (2003): COS = Ps (cm) * Da (g cm⁻³) * CO (%)

$$= ((D7 * D8 * D6) * 100000000) / 1000000$$

Anexo 8. Aporte nutritivo de la biomasa al suelo del SAF (kg ha⁻¹)

SAF	TEJIDO	Pf (kg) ha-1	% m.s.	Ps (kg) ha-1	Nt (kg)	P (kg)	K (kg)	Ca (kg)	Mg (kg)
JM	Hoja	4 633	92.79	4 298.81	54.16	2.58	14.62	61.47	23.21
	Rama	4 132.5	98.71	4 079.37	51.40	2.45	13.87	58.33	22.03
	Fraccionado	5 070.72	95.32	4 833.56	60.90	2.90	16.43	69.12	26.10
Total		13 836.2		13 211.7	166.47	7.93	44.92	188.93	71.34
ERS	Hoja	3 655.8	83.07	3 037.04	43.73	1.82	20.96	43.73	16.40
	Rama	2 757.6	93.45	2 576.93	37.11	1.55	17.78	37.11	13.92
	Fraccionado	6 826.4	88.12	6 015.46	86.62	3.61	41.51	86.62	32.48
Total		13 239.8		11 629.4	167.46	6.98	80.24	167.46	62.80
PE	Hoja	2 867.2	93.46	2 679.58	41.27	1.88	6.97	32.42	6.97
	Rama	4 964.8	61.48	3 052.35	47.01	2.14	7.94	36.93	7.94
	Fraccionado	7 556.0	81.81	6 181.24	95.19	4.33	16.07	74.79	16.07
Total		15 388		11 913.2	183.46	8.34	30.97	144.15	30.97
RE	Hoja	3 852.8	94.67	3 647.32	56.17	1.82	11.67	70.39	10.21
	Rama	5 123.6	91.65	4 695.96	72.32	2.35	15.03	90.63	13.15
	Fraccionado	5 376.8	85.38	4 590.45	70.69	2.30	14.69	88.60	12.85
Total		14 353.2		12 933.7	199.18	6.47	41.39	249.62	36.21

LABSA-UNA. Material de hojas, ramas y fraccionado a través del uso del marco cuadrado 0.25m²

Anexo 9. Número de especies y abundancia arbórea en los SAF con café en estudio (0.25 ha)

N°	Especies	JM	ERS	PE	RE	Usos de las especies
1	<i>Platimiscium pleiostachium</i>	3	9	0	0	Mad, Leñ, Carb, PosCer, Somb, Orn, Art,
2	<i>Inga spp.</i>	2	6	6	28	Mad, Leñ, PosCer, Fer, Somb,

N°	Especies	JM	ERS	PE	RE	Usos de las especies
3	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	3	3	0	1	Mad, Leñ, Med, Forra, PosCer, Som, Usos culturales
4	<i>Citrus paradisi</i>	1	0	0	0	Frutal
5	<i>Citrus sinensis</i>	2	3	2	6	Leñ, Fru, Som
6	<i>Stemmadenia donnel smithii</i>	1	0	0	0	Leñ, Med, PosCer, Som, Ornam, Culturales
7	<i>Spondias mombin</i>	1	0	0	0	Mad, Leñ, Car, Fru, Forr, PosCer, Som, Bro, Art, Cult
8	<i>Buersera somarouba</i> (L.) Sarg	1	0	0	0	Mad, Leñ, Car, Fru, Med, ResLat, PosCer, Som, Art, Cult
9	<i>Cordia alliodora</i> (Ruíz & Pavón) Oken	1	6	3	4	Mad, Leñ, Car, PosCer, Som, Cult
10	<i>Persea americana</i>	0	4	1	0	Mad, Leñ, Car, Frut, Med, PosCer, Som
11	<i>Phoebe mexicana</i>	0	2	0	0	
12	<i>Swietenia humillis</i> Zucc	0	19	0	0	Mad, Leñ
13	<i>Albizia guachapele</i> (Kunth) Dugand	0	1	0	0	Mad, Leñ, Fru, Med, Forr, ResLat, PosCer, Som, Art
14	<i>Albizia adinocephala</i>	0	1	2	2	Mad, Leñ, Fru, Med, Forr, ResLat, PosCer, Som, Art, Cult
15	<i>Psidium guajaba</i>	0	1	3	25	Mad, Leñ, Fru, Med, Forr, PosCer, Som
16	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth. Ex Walpers	0	5	0	0	Mad, Leñ, Med, Forr, PosCer, Fert, Som
17	<i>Mangifera indica</i>	0	4	0	0	Mad, Leñ, Fru, Med, PstCer, Som, Orn

N°	Especies	JM	ERS	PE	RE	Usos de las especies
18	<i>Lippia myriocephala</i>	0	5	4	5	Mad, Leñ, PosCer, Som
19	<i>Casimiroa spp.</i>	0	1	0	0	Mad, Leñ, Fru, PosCer, Som
20	<i>Cinchona officinalis</i>	0	2	0	0	Med
21	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol) D.C.	0	2	0	0	Mad, Leñ, PosCer, Som, Art
22	<i>Piscidia piscipula</i>	0	2	0	0	Mad, Leñ, Med, PosCer, Som,
23	<i>Trichilia havanensis</i>	0	0	3	7	Leñ, PosCer, Som
24	<i>Cecropia peltata</i>	0	0	5	4	Mad, Leñ, PosCer, Som, Art
25	<i>Chomelia spinoza</i>	0	0	1	6	Fru*
26	<i>Reopanax capitalis</i> (Jack)	0	0	2	1	Leñ, PosCer, Som
27	<i>Cespedesia macrophylla</i>	0	0	6	4	Mad, Leñ, PosCer, Som, Cult
28	<i>Miconia spp (argentea).</i>	0	0	0	8	Leñ, PosCer
29	<i>Calliandra calothyrsus</i>	0	0	0	1	Leñ, Forr, mejora suelos (Wikipedia)
30	<i>Rehdera trinervis</i>	0	0	0	2	Leñ, Car*
	Total	15	76	38	104	

*Grijalva (2006, p199), restante con INAFOR, (2007 - 2008, p. 218 - 229)

Anexo 10. Hoja de salida del software "PAST", con los parámetros arbóreos de índice de Shannon-W, taxa S (riqueza específica), individuals (densidad árboles en 0.25 ha) y Dominance_D (dominancia entre las especies)

	JM	ERS	PE	RE
Taxa_S	9	18	12	15
Individuals	15	76	38	104
Dominance_D	0.14	0.11	0.11	0.16
Simpson_1-D	0.86	0.89	0.89	0.84
Shannon_H	2.08	2.53	2.34	2.21
Evenness_e^H/S	0.89	0.70	0.87	0.61

Brillouin	1.53	2.22	1.96	2.00
Menhinick	2.32	2.07	1.95	1.47
Margalef	2.95	3.93	3.02	3.01
Equitability_J	0.95	0.88	0.94	0.82
Fisher_alpha	9.50	7.45	6.04	4.81
Berger-Parker	0.20	0.25	0.16	0.27
Chao-1	12.33	19.2	12.25	16

Anexo 11. Diversidad de Artrópodos en el suelo por metro cuadrado (m²)

Orden	Familia	Generos	Especimenes / m ²				
			J M	E R S	P E	R E	Su mat oria
Coleoptera	Scarabaeidae	<i>Phyllophaga (fitofago)</i>	8	8	16	8	40
		<i>Euphoria spp. (saprófago estricto)</i>	4	0	0	0	4
	Chrysomelidae	<i>Diabrotica balteata Leconte, (plaga)</i>	4	0	0	0	4
		<i>Deloyala spp. (plaga)</i>	0	4	0	0	4
		<i>Nodonata spp. (No cconocido)</i>	0	0	0	4	4
	Tenebrionidae	<i>Epitragus spp. (detritivoro) polífago (escarabajo)</i>	4	0	4	4	12
	Elateridae	<i>Conoderus spp. (plaga, depredador, detritivoro)</i>	4	0	0	0	4
	Lampiridae	<i>Aspisma spp. (luciérnagas) (depredadoras)</i>	8	4	4	0	16
	Carabidae	<i>Calosoma spp. (adéfago) control biologico</i>	0	0	4	0	4
	Staphylinidae	<i>Creophilus spp. (detritívoro, descomponedor, depredador)</i>	0	4	0	0	4
Total Coleoptera		3	2	2	16	96	
Hemiptera	Pentatomidae	<i>Proxys punctulatus (Palisot De Beauvois, 1985) chinche hediondo (fitofago y depredador)</i>	0	0	4	0	4
		<i>Euchistus spp. Chinche marrón (fitofago y depredador)</i>	4	0	0	4	8
	Cicadidae	<i>Diceroprocta spp. (plaga) savia</i>	4	0	0	0	4
	Coreidae	<i>Leptoglossus zonatus (Dallas, 1852) (polífago sobre frutales)</i>	0	0	4	0	4
	Total Hemiptera		8	0	8	4	20

Hymenoptera	Formicidae	<i>Atta cephalotes</i> Linneaus, (depredador, omnivoro)	0	0	1	0	12
		<i>Atta spp.</i> (depredador, omnívoro)	0	8	0	8	16
Total Hymenoptera			0	8	1	8	28
Orthoptera	Gryllidae	<i>Acheta spp.</i>	4	0	0	0	
	Acrididae	NI (saltamontes) (depredador, omnivoro)	0	4	0	0	
Total Orthoptera			4	4	0	0	8
Blattodea Subfilum	Blattidae	NI (Cucaracha) (omnivoro)	0	0	0	4	4
Chelicerata	Clase Arachnida	NI (Araña) (depredador. carnívoro agresivo)	8	8	8	4	
Total Chelicerata			8	8	8	4	28
Myriapoda (detritívoros)	Clase Chilapoda	NI (cien pies), (depredador, saprófago)	0	0	4	4	
	Clase Diplopoda	NI (mil pies), (detritívoro, depredador)	0	0	4	0	
Total Myriapoda			0	0	8	4	12
Gran total			5	4	6	40	
			2	0	4		

Utilizando el marco cuadrado 0.25 m² para luego multiplicarse por 4, para elevar el dato a m²

Anexo 11. (Continuación...) Diversidad de artrópodos presentes en el suelo a nivel de órdenes y Subfilum en los cuatro SAF con café (0.25 m²)

Artrópodos en el suelo	JM	ERS	PE	RE
Orden	4	3	4	4
Familias	10	6	7	6
Géneros	9	4	7	5
cantidad de especímenes	13	10	16	10
Número de especies	11	7	10	8
Individuos no identificados	1	2	3	2

Artrópodos del suelo en 0.25m²

Anexo 12. Presencia de microorganismos en el suelo a nivel de género (hongos, bacterias y nematodos)

SAF/microorganismos	JM	ERS	PE	RE
Géneros de Hongos	Aspergillus sp.	Aspergillus sp.	Aspergillus sp. Rhizoctonia sp. Pythium sp.	Trichoderma spp. Fusarium sp
	Géneros de Bacterias	Serratia	Bacillus	Bacillus
				Sarcina Bacillus
Géneros de Nematodos	JM	ERS	PE	RE
<i>Helycotilenchus</i> sp. (N°/200g suelo)	5	25	5	25
<i>Meloidogyne</i> spp. (N°/200g suelo)	5	0	15	0

Anexo 13. Número de lombrices por m² en época lluviosa, ya que en época seca no se encontraron

puntos	JM	ERS	PE	RE
	N° lombrices en 0.25m ²			
1	0	20	16	23
2	0	4	23	36
3	0	3	61	35
4	0	3	21	40
5	0	2	31	31
Promedio	0	6.4	30.4	33
Máximo	0	20	61	40
Mínimo	0	3	16	23
Rango (N° de lombrices por m ²)	0	12-80	64-244	92-132
N° promedio de Lombrices por m ²	0	25.6	121.6	132
N° Lombrices por ha	0	256 000	1 216 000	1 320 000

Se utilizaron 5 puntos distribuidos uniformemente en la parcela temporal a 10 cm de profundidad del suelo con el uso de un marco de 0.25m² por ello hay que multiplicar por 4 el promedio para obtener el dato por metro cuadrado

Anexo 14. Biomasa almacenada en el suelo (t ha⁻¹)

SAF	Hoja	Rama	Fraccionado	Total, (kg ha ⁻¹)	Total (t ha ⁻¹)
JM	4 298.81	4 070.37	4 833.56	13 202.74	13.20
ERS	3 037.04	2 576.93	6 015.46	11 629.43	11.63
PE	2 679.58	3 052.35	6 181.24	11 913.17	11.91
RE	3 647.32	4 695.96	4 590.45	12 933.73	12.93
Total (kg ha ⁻¹)	13 662.75	14 395.61	21 620.71		

Anexo 15. Cobertura del suelo en el SAF con café (%)

Cobertura del suelo (%)	JM	ERS	PE	RE
Zacates	0	0	2.67	10.67
Hoja ancha anual	33.33	38.67	8	1.33
Hoja ancha perenne	4	0	1.33	0
Bejucos en la calle	13.33	2.67	4	0
Cobertura de hoja ancha	8	1.33	0	0
Cobertura de hoja angosta	6.67	0	4	2.67
Hojarasca	21.33	48	74.67	77.33
Suelo	13.33	9.33	5.33	8
Bejucos en el carril	1	2	10	5

Anexo 16. Sombra dentro del SAF con café (%)

	JM			ERS			PE			RE		
	P 1	P 2	P 3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
L1	75	52	93	80	90	91	53	74	85	68	62	78
L2	88	70	43	68	86	89	38	74	85	64	54	76
L3	82	94	71	90	90	91	59	87	70	66	51	72
L4	93	94	75	94	92	92	64	80	77	85	75	62
Promedio	84.5	77.5	70.5	83	89.5	90.75	53.5	78.5	79.5	70.5	60.5	72
Factor	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
Cobertura de sombra %	87.8	80.6	73.3	86.32	93.08	94.38	55.64	81.9	82.42	73.58	62.92	74.88
Sombra en el cafetal (%)			80.6			91.26			73.32			70.46

Anexo 17 Clasificación diamétrica (cm) y de altura (m) de árboles en los cuatro SAF bajo estudio (0.25 ha)

Clasificación diamétrica de árboles en SAF-Café según Sabogal, et al., 2004, citado por Salazar, 2012, p. 48		JM	ERS	PE	RE
Categoría diamétrica	Latizal (5 – 9.9 cm)	0	13	13	24
	Fustal (10 – 30 cm)	11	48	24	76
	Maduro (más de 30 cm)	4	15	1	4
Diametro promedio (cm)		24.23	19.83	16.53	16.30
Ajuste a la clasificación de altura del dosel según (García, et. al.,2010, citado por Pineda, 2012, p. 8)					
Categoría de altura del dosel	Dosel bajo (5 - menos de 16 m)	11	57	34	85
	Dosel medio (16 – 24 m)	4	18	4	12
	Dosel alto (+24 m)	0	1	0	7
Altura promedio (m)		13.70	12.75	9.93	10.59

Anexo 18. Equipos utilizados durante la fase de campo de la investigación



1



2



3



4



5

Equipos utilizados durante la investigación: 1. Cintas métricas de 5 y 30 m; 2:Gps Garmin Etrex; 3: Densímetro optico tipo "A"; 4: Altimetro HAGA; 5: Marco cuadrado

Anexo 19. Análisis de suelo y su interpretación

Análisis de suelo a 20 cm de profundidad el 04/03/2011 rangos de nutrientes en suelos de Nicaragua. LABSA, UNA según (Quintana *et. al.*, 1993). Disponibilidad de N, P, K

	pH (agua)	C.O. (%)	M.O. (%)	Da (g/cm)	Textur a (%)	N (%)	P (ppm)	K me/100 g Suelo	CIC
JM	6.78	4.38	7.55	1.09	Arcilla	0.38	9.2	0.45	58.57
ERS	6.07	2.88	4.97	1.14	Arcilla	0.25	2.5	0.74	31.5
PE	5.71	4.32	7.45	1.2	Arcilla	0.37	2	0.31	31.71
RE	5.44	3.71	6.40	0.79	Arcilla	0.32	0.5	0.18	25.97

M.O. (%): Menor de 2 % es bajo; 2-4% es medio y mayor a 4% es alto

N disp. (% ha⁻¹): menor de 0.07 se considera pobre, entre 0.07 – 0.15 medio y mayor de 0.15 se considera alto

C.I.C (me/100 g suelo): entre 15-25 es media; entre 25-40 es alta y mayor de 40 es Muy alta

pH: 5.2 a 6.2 es medianamente ácido; 6.2 - 6.6 es ligeramente ácido y 6.6 - 6.8 es Muy ligeramente ácido

P disp.(ppm): menor de 10 es pobre; 10 a 20 es medio y más de 20 es alto

K disp. (me/100 g suelo): menor de 0.2 es pobre; 0.2 - 0.3 es medio y mayor de 0.3 es alto

Según los resultados del análisis de suelo, su aporte nutritivo es el siguiente

El carbono orgánico se debe multiplicar por un factor 1.724 para convertirlo a materia orgánica

bajo el supuesto de que la materia orgánica contiene el 58% de carbono orgánico (Soriano M., Pons martí, V. 2001)

Interpretación del análisis de suelo aplicado en los cuatro SAF investigados

	Elemento	JM	ERS	PE	RE
Demanda de nutrientes kg ha año	N	150	150	150	150
	P	25	25	25	25
	K	130	130	130	130
Disponibilidad de nutrientes suelo kg ha	N	82.3	56.66	89.4	50.56
	P	20.06	5.7	4.8	0.79
	K	382.59	658.01	290.16	110.92
Necesidades de nutrientes kg ha	N	-67.7	-93.34	-60.6	-99.44
	P	-4.94	-19.3	-20.2	-24.21
	K	252.59	528.01	160.16	-19.08

Demanda según: CENICAFE, (2012). “Alternativas generales de fertilización para cafetales en la etapa de producción” (p. 3, 4). La demanda está en base a cafetales con 45 a 55 % de sombra y densidad de café menor a 5000 plantas por hectárea. La interpretación fue realizada por el investigador

Anexo 20. Diagnóstico del estado productivo del café (%)

Diagnostico productivo del cafetal (%)	JM	ERS	PE	RE
Plantas productivas	53	47	48	64
plantas que requieren poda sanitaria	0	7	2	4
plantas que requieren recepo	0	6	9	4
plantas que necesitan ser renovadas	0	15	0	0
plantas recién renovadas	47	25	39	28
fallas físicas	0	0	2	0

Se tomaron 4 puntos al azar con 25 plantas/punto: cinco plantas en cinco surcos

Para cumplir con esta variable se realizaron los pasos siguientes; seleccionar al azar en el cafetal cuatro puntos de 25 plantas cada uno, en cada punto revisar los 25 cafetos (5 plantas en 5 surcos o líneas), seguidamente revisamos cafeto por cafeto (anotando en la hoja de entrada de datos) con una raya la categoría a que corresponde cada planta que pueden ser (café productivo, cafeto que requiere poda sanitaria, cafeto agotado que requiere ser recepado, cafeto agotado para renovar, cafeto de dos años o renovado y hueco en surco para sembrar un cafeto o sea falla física). Finalmente se totalizó y se obtuvo en porcentaje la presencia de cada categoría al dividirla entre la totalidad y multiplicarla por 100 (CATIE, 2009, p.47)

Anexo 21. Momentos de obtención de información en los SAF investigados

Variables	Época seca	Época lluviosa
Conteo de lombrices	Mayo	Noviembre
Cálculo de porcentaje de sombra		Septiembre
Diagnostico fitosanitario	Marzo	Septiembre
Aplicación de encuesta		Diciembre
Cálculo de cobertura de suelo		Septiembre
Inventario de árboles		Octubre – Noviembre
Muestreo de artrópodos		Septiembre
Muestreo de microorganismos		Septiembre
Cálculo de la pendiente de los SAF	Mayo	
Cálculo de biomasa en el suelo	Mayo	
Muestreo de suelo	Marzo	
<i>Cálculo de carbono almacenado por árboles</i>		
<i>Cálculo de carbono almacenado por café</i>		
<i>Cálculo de carbono almacenado por mantillo</i>		
<i>Cálculo de carbono almacenado por el suelo</i>		
<i>Diversidad</i>		
<i>Diversidad arbórea de Shannon - Wiener</i>		
<i>Diversidad de artrópodos en el suelo</i>		
<i>Presencia de microorganismos en el suelo</i>		
<i>Presencia de lombrices en el suelo</i>		
<i>Clasificación diamétrica de árboles</i>		
<i>Clasificación de árboles por estrato según altura</i>		

Anexo 22. Contribución de prácticas de manejo a los principios agroecológicos de los SAF con café

Principios agroecológicos	Prácticas de manejo	Valor	Proporcionalidad
1. Reciclaje	Tipo de cobertura de suelo predominante	%	El mayor valor corresponde a 1 y los valores de los SAF se dividirán entre este valor para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente
	Biomasa sobre el suelo (t ha ⁻¹)	t ha ⁻¹	El mayor valor corresponde a 1 y los valores de los SAF se dividirán entre este valor para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente
	Carbono almacenado por árboles	t ha ⁻¹ C	El mayor valor corresponde a 1 y los valores de los SAF se dividirán entre este valor para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente
	Carbono almacenado por arbustos	t ha ⁻¹ C	El mayor valor corresponde a 1 y los valores de los SAF se dividirán entre este valor para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente
	Carbono almacenado por mantillo	t ha ⁻¹ C	El mayor valor corresponde a 1 y los valores de los SAF se dividirán entre este valor para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente
	Carbono almacenado por el suelo	t ha ⁻¹ C	El mayor valor corresponde a 1 y los valores de los SAF se dividirán entre este valor para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente
	Artrópodos en el suelo	Órdenes y subfilum	El mayor valor corresponde a 1 y los valores de los SAF se dividirán entre este valor para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente
	Número de lombrices en suelo por m ²	Lombrices m ²	El mayor valor corresponde a 1 y los valores de los SAF se dividirán entre este valor para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente

	Número de géneros de bacteria	Géneros	El mayor valor corresponde a 1 y los valores de los SAF se dividirán entre este valor para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente
	Número de géneros de hongos	Géneros	El mayor valor corresponde a 1 y los valores de los SAF se dividirán entre este valor para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente
Promedio			
	Índice de Shannon – Wiener	Índice	De 0.5 – 5, siendo: Normal 2-3; Menor a 2 es de baja diversidad; Superior a 3 es alto en diversidad (Wikipedia 22 julio 2020). Los valor igual o menores a 1 (MB), de 1.1 a 2 (B), de 2.1 a 3 (Med), de 3.1 a 4 (A), 4.1 a 5 (Max). Para encontrar el dato correspondiente cada valor de Shannon se dividirá entre 5 para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente
2. Biodiversidad	Número de especies arbóreas	Especies	El mayor valor corresponde a 1 y los valores de los SAF se dividirán entre este valor para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente
	Número de variedades de café	variedades	El mayor valor corresponde a 1 y los valores de los SAF se dividirán entre éste valor para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente
	Número de especies de cultivos frutales (total de especies en los cuatro SAF)	Especies	El mayor valor corresponde a 1 y los valores de los SAF se dividirán entre este valor para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente
	Número de órdenes y subfilum m ²	órdenes y subfilum	El mayor valor corresponde a 1 y los valores de los SAF se dividirán entre este valor para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente

	Número de géneros de artrópodos por m ²	Géneros	El mayor valor corresponde a 1 y los valores de los SAF se dividirán entre este valor para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente
	Número de géneros de hongos	Géneros	El mayor valor corresponde a 1 y los valores de los SAF se dividirán entre este valor para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente
	Número de géneros de bacterias	Géneros	El mayor valor corresponde a 1 y los valores de los SAF se dividirán entre este valor para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente
	Número de géneros de nemátodos (200 g suelo)	Géneros	El mayor valor corresponde a 1 y los valores de los SAF se dividirán entre este valor para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente
Promedio			
3. Manejo ecológico del suelo para mejorar su fertilidad y actividad biológica	Porcentaje de materia orgánica en suelo	%	Mayor a 4 % es alto, (anexo 19) LABSA según (Quintana <i>et. al.</i> , 1993). Valores de 0 a 1 (MB), 1.1 a 2 (B), de 2.1 a 3 (Med), de 3.1 a 4 (A) y más de 4 (Max). 5 será 1 y los valores serán divididos entre 5 para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente
	Disponibilidad de nitrógeno del suelo	%	Mayor a 0.15 es alto, (anexo 19) LABSA según (Quintana <i>et. al.</i> , 1993). Valores de 0 a 0.03 (MB), de 0.04 a 0.07 (B), de 0.08 a 0.11 (Med), de 0.12 a 0.15 (A) y más de 0.15 (Max). 0.16 será 1 y los valores serán divididos entre 0.16 para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente
	Disponibilidad de fósforo del suelo	ppm	Menor de 10 es pobre y más de 20 es alto (anexo 19), LABSA según (Quintana <i>et. al.</i> , 1993). Valores de 0 a 4 (MB), de 5 a 9 (B), de 10 a 14

		(Med), de 15 a 20 (A) y más de 20 (Max). Cada valor se divide entre 21 (más de 20) para su proporcionalidad y los valores serán divididos entre 5 para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente
Disponibilidad de potasio del suelo	meq/100 g suelo	Mayor de 0.3 es alto, (anexo 19) LABSA según (Quintana <i>et. al.</i> , 1993). Valores de 0.1 o menos (MB), de 0.11 a 0.15 (B), de 0.16 a 0.2 (Med), de 0.21 a 0.3 (A) y más de 0.3 (Max). Cada valor de SAF se divide entre 0.4 (máximo) para su proporcionalidad y los valores serán divididos entre 0.4 para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente
Cobertura de suelo hojarasca	%	El mayor valor corresponde a 1 y los valores de los SAF se dividirán entre este valor para encontrar su proporcionalidad y los valores serán divididos entre cinco para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente
Pendiente	%	15 % pendiente máxima (NTON 11-045-14, 2016, p. 2608) Certificación de semilla sexual de café (<i>Coffea arabica</i> L.). Valores de 15 % o menos (Max), de 16 a 25 (A), de 26 a 36 (Med), de 37 a 47 (B), más de 47 (MB). Se tomó el valor de 48 (más de 47) y se restó a 15 (pendiente máxima) resultando 33, luego se dividió 1 entre 33 resultando en 0.03. Se restó de la pendiente de cada SAF 15, al resultado se multiplicó por 0.03 y este resultado se restó de 1 para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente
Artrópodos órdenes y subfilum	Órdenes y subfilum.	El mayor valor corresponde a 1 y los valores de los SAF se dividirán entre este valor para encontrar su

			proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente
	Artrópodos individuos por m ²	individuos m ⁻²	El mayor valor corresponde a 1 y los valores de los SAF se dividirán entre éste valor para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente
	Géneros de microorganismos	Géneros	El mayor valor corresponde a 1 y los valores de los SAF se dividirán entre este valor para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente
	Abonado (estiércol bovino o pulpa de café)	Abona	Sí es 1, y no es 0
	La limpieza (chapia) del sistema es manual	Realiza limpieza	Sí es 1, y no es 0
Promedio			
4. Minimizar pérdidas de energía mediante la mejora, conservación y regeneración del suelo, agua y biodiversidad	Nº obras de CSA (cultivo en curvas nivel, barreras muertas)	Obras	La producción agroecológica implementa al menos tres técnicas de CSA (NTON 11-037-12, p. 15), Caracterización, regulación y certificación de unidades de producción agroecológica. NTON técnicas de conservación y mejora del suelo (no quema, asocio, barreras muertas, curvas a nivel, cubierta de hojarasca), (p. 40). Valores de 1 obra es 0.2 (MB), 2 obras es 0.4 (B), 3 obras es 0.6 (Med), 4 obras es 0.8 (A), 5 obras es 1 (Max). El mayor valor corresponde a 5 según la NTON, por tanto, los valores de cada SAF se dividirían entre este valor
	Asocio de cultivos	Si o no	Sí es 1, y no es 0
	Realiza quemas	Si o no	Sí es 1, y no es 0
	Mantiene cobertura del suelo	Si o no	Sí es 1, y no es 0
	Cultivo en curvas a nivel	Si o no	Sí es 1, y no es 0
	Cobertura de suelo por hojarasca	%	El mayor valor corresponde a 1 y los valores de los SAF se dividirán entre

			este valor para encontrar su proporcionalidad
	Porcentaje de sombra arbórea	%	Recomendado 35 a 45 % según Arcila, Farfán, Moreno, Salazar e Hincapié (2007, p. 183). Valores de 35 a 45 % (Max), de 25 a 34 y de 46 a 56 (A), de 15 a 24 y de 57 a 67 (Med), de cinco a 14 y de 68 a 78 (B) y menos de cinco y más de 78 (MB). Se utilizará los datos de campo divididos entre 100 para ubicarse en la escala correspondiente
	Cobertura de suelo (suelo desnudo)	%	<i>El menor valor corresponde a 1 y los valores de los SAF se dividirán entre este valor para encontrar su proporcionalidad</i>
	Pendiente del suelo	%	15 % pendiente máxima (NTON 11-045-14, 2016, p. 2608). Valores de 15 % o menos (Max), de 16 a 25 (A), de 26 a 36 (Med), de 37 a 47 (B), más de 47 (MB). Se tomó el valor de 48 (más de 47) y se restó a 15 (pendiente máxima) resultando 33, luego se dividió uno entre 33 resultando en 0.03. Se restó de la pendiente de cada SAF 15, al resultado se multiplicó por 0.03 y este resultado se restó de 1 para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente
Promedio			
5. Diseñar y fortalecer un sistema de manejo ecológico de plagas y enfermedades mediante prácticas y mecanismos naturales	Porcentaje de sombra arbórea	%	Recomendado 35 a 45 % según Arcila, Farfán, Moreno, Salazar e Hincapié (2007, p. 183). Valores de 35 a 45 % (Max), de 25 a 34 y de 46 a 56 (A), de 15 a 24 y de 57 a 67 (Med), de cinco a 14 y de 68 a 78 (B) y menos de cinco y más de 78 (MB). Para buscar la proporcionalidad se tomó el valor de 40 (promedio de 35-45) y se dividió entre el valor de sombra arbórea de cada SAF para encontrar su proporcionalidad y ubicarse en la escala correspondiente

Número de géneros de microorganismos plagas	Géneros	<i>El menor valor corresponde a 1 y los valores de los SAF se dividirán entre este valor para encontrar su proporcionalidad</i>
Número de géneros de microorganismos benéficos	Géneros	El mayor valor corresponde a 1 y los valores de los SAF se dividirán entre este valor para encontrar su proporcionalidad
Número de artrópodos benéficos m ²		El mayor valor de los cuatro SAF corresponde a 1 y este valor se dividirá entre los restantes tres valores para encontrar su proporcionalidad
Numero de artrópodos benéficos por m ² (depredadores, detritívoros)	Individuos m ²	El menor valor de los cuatro SAF corresponde a 1 y este valor se dividirá entre los restantes tres valores para encontrar su proporcionalidad
Cobertura de suelo (hojarasca)	%	El mayor valor corresponde a 1 y los valores de los SAF se dividirán entre este valor para encontrar su proporcionalidad
Podas (regulación de sombra)	Veces por año	El mayor valor corresponde a 1 y los valores de los SAF se dividirán entre este valor para encontrar su proporcionalidad
Edad del cafetal (años)	Ocho años	El café alcanza su máxima productividad entre los seis y ocho años de edad, según Arcila, Farfán, Moreno, Salazar e Hincapié (2007, p. 22). <i>El cafetal más joven (años) es número 1, este valor (8 años) se dividió entre las edades del café de los otros SAF aplicando proporcionalidad</i>
Promedio		
Tomador de decisiones	La familia	Sí es 1, y no es 0

6. Bases culturales o antropogénicas	Los hijos apoyan las labores de manejo	Si	Sí es 1, y no es 0
	La esposa es tomadora de decisiones	Si	Sí es 1, y no es 0
	Contrata mano de obra externa local	Si	Sí es 1, y no es 0
	Contrata niños para el manejo del cafetal	No	No es 1, y sí, es 0
	Contrata mujeres para las labores de manejo	Si	Sí es 1, y no es 0
	Ha establecido especies frutales para autoconsumo	Si	No es 1, y sí es 0
Promedio			
Promedio total			

Fuente: Propia

Anexo 23. Contribución de prácticas de manejo a los principios agroecológicos de los SAF con café

Principio	Práctica de manejo	Valor mayor	Sistema agroforestal			
			JM	ERS	PE	RE
Mejorar reciclaje	Tipo de cobertura de suelo predominante	hojarasca 77.33 %	0.27	0.62	0.97	1.00
	Biomasa sobre el suelo (t ha ⁻¹)	13.2 t ha ⁻¹	1.00	0.88	0.90	0.98
	Carbono almacenado por arboles	25.7 t ha ⁻¹ C	0.25	1.00	0.33	0.84
	Carbono almacenado por arbustos	2.21 t ha ⁻¹ C	0.45	0.28	0.49	1.00
	Carbono almacenado por mantillo	6.61 t ha ⁻¹ C	1.00	0.88	0.90	0.98
	Carbono almacenado por el suelo	103.68 t ha ⁻¹ C	0.92	0.63	1.00	0.57
	Artrópodos en el suelo	6 Órdenes y subfilum	0.67	0.67	0.83	1.00
	Nº de lombrices en suelo m ⁻²	132 lombrices m ²	0.00	0.19	0.92	1.00
	Nº de géneros de bacteria	2 Géneros	1.00	0.50	1.00	0.50

Promedio	Nº de géneros de hongos	3 Géneros	0.33	0.33	1.00	0.67
			0.59	0.60	0.83	0.85
	Índice de Shannon – Wiener	2.53 Índice	0.42	0.51	0.47	0.44
	Nº de especies arbóreas	18 especies	0.50	1.00	0.67	0.83
	Nº de variedades de café	3 variedades	0.33	0.67	1.00	0.67
Mejorar biodiversidad	Nº de especies de cultivos frutales	5 especies	0.60	0.80	0.60	0.40
	Nº de artrópodos órdenes y subfilum por m ²	6 órdenes y subfilum	0.67	0.67	0.83	1.00
	Nº de géneros de artrópodos por m ²	9 Géneros	1.00	0.44	0.78	0.67
	Nº de géneros de hongos	3 Géneros	0.33	0.33	1.00	0.67
	Nº de géneros de bacterias	2 Géneros	0.50	0.50	1.00	1.00
Promedio	Nº de géneros de nematodos (200 g suelo)	2 Géneros	1.00	0.50	1.00	0.50
			0.59	0.60	0.82	0.69
	Porcentaje de materia orgánica en suelo	7.55 %	1.00	1.00	1.00	1.00
	Disponibilidad de nitrógeno del suelo	%	1.00	1.00	1.00	1.00
	Disponibilidad de fósforo del suelo	ppm	0.44	0.10	0.10	0.02
Manejo ecológico del suelo para mejorar su fertilidad y actividad biológica	Disponibilidad de potasio del suelo	meq/100 g suelo	1.00	1.00	0.78	0.45
	Cobertura de suelo hojarasca	77.33 %	0.27	0.62	0.97	1.00
	<i>Pendiente</i>	%	0.57	0.08	0.64	0.49
	Artrópodos órdenes y subfilum m ²	6 Órdenes y subfilum.	0.67	0.67	0.83	1.00
	Artrópodos individuos por m ²	64 individuos m ²	0.81	0.63	1.00	0.63
	Géneros de microorganismos	7 Géneros	0.57	0.43	1.00	0.71
	Abonado (estiércol bovino o pulpa de café)	(Si (1); no (0))	1.00	1.00	1.00	1.00
	La limpieza (chapia) del sistema es manual	(Si (1); no (0))	1.00	1.00	1.00	1.00
	Promedio		0.76	0.68	0.85	0.75
	Manejo del suelo para su conservación	Nº obras de CSA (no quema, asocio, barreras muertas, curvas a nivel , cubierta con hojarasca)	Obras	0.80	1.00	0.80
Realiza asocio de cultivos		(Si (1); no (0))	1.00	1.00	1.00	1.00
<i>Realiza quemas</i>		(Si (0); no (1))	1.00	1.00	1.00	1.00
Mantiene cobertura del suelo		(Si (1); no (0))	1.00	1.00	1.00	1.00
Cultivo en curvas a nivel		(Si (1); no (0))	1.00	1.00	1.00	1.00

	Cobertura de suelo por hojarasca	77.33%	0.27	0.62	0.97	1.00
	<i>Porcentaje de sombra arbórea</i>	<i>% (dato de campo)</i>	0.80	0.91	0.72	0.70
	<i>Cobertura de suelo (suelo desnudo)</i>	<i>5.33% (menor valor)</i>	0.40	0.57	1.00	0.67
Promedio	Pendiente del suelo	%	0.57	0.08	0.64	0.49
			0.76	0.80	0.90	0.87
	<i>Porcentaje de sombra arbórea</i>	%	0.50	0.44	0.55	0.57
	<i>Numero de generos de microorganismos plagas (hongos y bacterias, nemátodos)</i>	2 Géneros (menor valor)	0.67	1.00	0.40	1.00
Manejo ecológico de plagas y enfermedades	Número de géneros de microorganismos benéficas (hongos y bacterias, nemátodos)	5 Géneros	0.40	0.40	0.40	0.60
	<i>Numero de artrópodos plaga por m²</i>	8 individuos m ² (menor valor)	0.50	0.67	0.40	1.00
	Numero de artrópodos benéficos por m ² (depredadores, detritívoros)	40 Individuos m ²	0.60	0.70	1.00	0.60
	Cobertura de suelo (hojarasca)	77.33%	0.28	0.62	0.97	1.00
	Realiza podas (regulación de sombra)	(Si (1); no (0))	1.00	1.00	1.00	1.00
	<i>Edad del cafetal (años)</i>	8 años (menor valor)	1.00	0.27	0.80	0.62
Promedio			0.62	0.64	0.69	0.80
	La familia es quien toma las decisiones	(Si (1); no (0))	0.00	0.00	0.00	0.00
	Los hijos apoyan las labores de manejo	(Si (1); no (0))	1.00	1.00	0.00	1.00
	La esposa es tomadora de decisiones	(Si (1); no (0))	0.00	0.00	0.00	0.00
Bases culturales o antropogénicas	Contrata mano de obra externa local	(Si (1); no (0))	1.00	1.00	1.00	1.00
	Contrata niños para el manejo del cafetal	(Si (0); no (1))	0.00	0.00	0.00	0.00
	Contrata mujeres para las labores de manejo	(Si (1); no (0))	1.00	0.00	1.00	1.00
	Ha establecido especies frutales para autoconsumo	(Si (1); no (0))	1.00	1.00	1.00	1.00
Promedio			0.57	0.43	0.43	0.57

Promedio total	0.65	0.62	0.75	0.76
Escala cualitativa	A	A	A	A

A: alta gestión de manejo, basado en los principios agroecológicos (0.8 – 0.61)