



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente

## Trabajo de Graduación

Evaluación de servicios ambientales de sistemas agroforestales con café (*Coffea spp*) y cacao (*Theobroma cacao*) en tres fincas del municipio El Tuma - La Dalia, Matagalpa

### AUTOR

Br: Luis Octavio Espinoza Núñez

### ASESORES

Ing. MSc. César Aguirre

Lic. MSc. Teresa Morales

Ing. MSc. Reynaldo B. Mendoza

Managua, Nicaragua

Septiembre, 2017



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente

## Trabajo de Graduación

Evaluación de servicios ambientales de sistemas agroforestales con café (*Coffea spp*) y cacao (*Theobroma cacao*) en tres fincas del municipio El Tuma - La Dalia, Matagalpa

Tesis para optar al Título de Ingeniero Forestal

### AUTOR

Br: Luis Octavio Espinoza Núñez

### ASESORES

Ing. MSc. César Aguirre

Ing. MSc. Teresa Morales

Ing. MSc. Reynaldo B. Mendoza

Managua, Nicaragua

Septiembre, 2017

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable tribunal examinador designado por la Decanatura de la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente, como requisito parcial para optar al título profesional de:

INGENIERO FORESTAL

Miembros del Tribunal Examinador

---

**Presidente**

**Secretario**

---

**Vocal**

Managua, Nicaragua

Septiembre, 2017

## INDICE DE CONTENIDO

SECCION		PAGINA
	<b>DEDICATORIA</b>	I
	<b>AGRADECIMIENTOS</b>	ii
	<b>INDICE DE CUADROS</b>	iii
	<b>INDICE DE FIGURAS</b>	iv
	<b>INDICE DE ANEXOS</b>	V
	<b>RESUMEN</b>	vi
	<b>ABSTRACT</b>	vii
<b>I</b>	<b>INTRODUCCION</b>	1
<b>II</b>	<b>OBJETIVOS</b>	3
	2.1. Objetivo general	3
	2.2. Objetivos específicos	3
<b>III</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	4
	3.1. Ubicación del estudio	4
	3.2. Características generales del Municipio de El Tuma, La Dalia	5
	3.2.1. Aspectos biofisicos	5
	3.2.2. Aspectos socioeconomicos	7
	3.3. Proceso metodologico	7
	3.3.1. Etapa de pre campo	8
	3.3.2. Etapa de campo	9
	3.2.3. Etapa de pos- campo	12
<b>IV</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	14
	4.1. Descripción socioeconómica de las fincas	14
	4.1.1. Finca El Manantial	14
	4.1.2. Finca Los Laureles	15
	4.1.3. Finca San Israel	15
	4.2. Evaluación de los servicios ambientales	16
	4.2.1. Conservación del agua	16
	4.2.2. Conservación del suelo	21
	4.2.3. Conservación de la biodiversidad	25
	4.2.4. Fijación de carbono	29
<b>V</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	34
<b>VI</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	35
<b>VII</b>	<b>LITERATURA CITADA</b>	36
<b>VIII</b>	<b>ANEXOS</b>	38

## DEDICATORIA

**“Nada brilla con luz propia, todos irradiamos la luz de Dios, la única que podría transformar el mundo agitado que convivimos en el presente.”**

Al **creador** de todo lo que vemos y lo que no vemos por haberme dado la vida y tener la oportunidad de construir un mundo mejor, con los diversos conocimientos y experiencias adquiridas en mi formación profesional.

A mí amada mamá **Ninoska Núñez Arias** y a mi papá **José Espinoza Torres** por todo el empeño y esfuerzo brindado para salir adelante, formando mi vocación con amor y sanos consejos diarios.

A mis **hermanos y personas de buena voluntad** que han sabido guiarme para construirme sobre bases sólidas amando al prójimo y a Dios sobre todas las cosas.

No puedo olvidar a mi abuelita **María Josefa Arias Rosales** y abuelito **Gustavo Adolfo Núñez Mejía** que ya descansan en la paz del señor, que siempre me animaron e impulsaron para que no me doblegara ante los avatares de la vida. De igual forma a mi tía **Francisca Espinoza Torres** que ya duerme en el sueño de los justos, que con mucho amor y fineza cuidó de mí en mi adolescencia.

Dedico este trabajo a mis **verdaderos amigos y consejeros** que siempre me indujeron por el camino del bien, y que en el momento de la debilidad y tribulación pusieron su mano amiga para orientarme y enseñarme el verdadero horizonte que conduce a la obtención de la corona de los vencedores, para servir con espíritu cristiano y fraternidad a la sociedad.

**“Del hombre que camina no se cuenta las veces que se cae, si no las veces que se levanta con fortaleza para continuar bregando y no desmayar en la lucha para alcanzar el triunfo”.**

**Luis Octavio Espinoza Núñez**

## AGRADECIMIENTOS

“Construye sobre bases sólidas y podrás soportar las embestidas de la naturaleza que a diario nos acechan, producto del mal uso de lo que nuestro creador nos ha regalado.”

“La gratitud es un don propio del ser humano que se percató de su pequeñez y humildemente acepto que los triunfos no se alcanzan solos, sino que son el producto de muchas voluntades.”

Por ello presento mis agradecimientos a:

- ❖ **DIOS**, único Señor y dador de vida, que nos creó a su imagen y semejanza, para que en esta vida fuésemos vencedores, con la fortaleza, fe y sabiduría que a diario nos regala.
- ❖ **FAMILIA Y AMIGOS**, que fueron fuente de inspiración para tenderme su mano amiga en los momentos difíciles y poder saltar los obstáculos y coronar con éxito mi carrera profesional.
- ❖ **MI ALMA MATER, UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**, por haberme recibido bajo su techo durante mi estadía transitoria, forjándome como profesional, llevando en mis manos un título universitario, para servir a mi amada Nicaragua y dar testimonio fiel de la calidad académica que recibí.
- ❖ **MIS ASESORES**, Ing. MSc. César Aguirre, Lic. MSc. Teresa Morales, Ing. MSc. Bismarck Mendoza. Que, sin su apoyo en el área científica, consejos y ejemplo hubiese sido casi imposible la materialización del trabajo de graduación, para alcanzar metas y objetivos profesionales.
- ❖ **DOCENTES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**, que a diario se esforzaron por darme lo mejor de su conocimiento, asesoría y consejos para regar la invisible simiente en nuestras mentes, formando profesionales con calidad para enfrentar con solidez las tareas del primer siglo del tercer milenio de la era cristiana.
- ❖ **Agencia Católica Irlandesa para el Desarrollo (TROOCAIRE) y a la Asociación para la Diversificación y el Desarrollo Agrícola y Comunal (ADDAC)**, por el apoyo financiero y logístico para el desarrollo de la investigación.

**Luis Octavio Espinoza Núñez**

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO</b>		<b>PAGINA</b>
1	Descripción de los servicios ambientales, criterios e indicadores considerados en el estudio	11
2	Uso de agroquímicos en las fincas cafetaleras El Manantial, San Israel y Los Laureles, El Tuma - La Dalia, 2015.	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>		<b>PAGINA</b>
1	Ubicación geográfica de El Tuma - La Dalia	4
2	Diseño Metodológico	8
3	Arreglo espacial de las parcelas	10
4	Estado de la conservación de agua en las fincas cafetaleras El Manantial, San Israel y Los Laureles, El Tuma - La Dalia, 2015	17
5	Estado de la calidad de agua utilizada en las fincas cafetaleras El Manantial, San Israel y Los Laureles, El Tuma - La Dalia, 2015	19
6	Estado de la conservación de suelos en las fincas cafetaleras El Manantial, San Israel y Los Laureles, El Tuma - La Dalia, 2015	22
7	Estado de la calidad de los suelos en las fincas cafetaleras El Manantial, San Israel y Los Laureles, El Tuma - La Dalia, 2015	24
8	Estado de la calidad del hábitat en las fincas cafetaleras El Manantial, San Israel y Los Laureles, El Tuma - La Dalia, 2015	27
9	Cantidad de carbono fijado por especie en las fincas cafetaleras El Manantial, San Israel y Los Laureles, El Tuma - La Dalia, 2015	31
10	Cantidad de carbono fijado a nivel de fincas; El Manantial, San Israel y Los Laureles, El Tuma - La Dalia, 2015	33

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO</b>		<b>PAGINA</b>
1	Entrevista semi estructurada	39
2	Formato de evaluación servicio de conservación de agua	40
3	Formato de evaluación servicio conservación de suelo	41
4	Formato de evaluación servicio de conservación de la Biodiversidad	42
5	Formato de evaluación servicio ambiental captura de carbono	43

## **RESUMEN**

El objetivo de este estudio fue evaluar la calidad de los servicios ambientales generados por sistemas agroforestales con café y cacao bajo sombra, a través de veintidós indicadores agrupados por servicio ambiental (conservación de agua, fijación de carbono, conservación de suelo y conservación de biodiversidad), en el año 2015, en tres fincas diversificadas con niveles de desarrollo intermedio y avanzado (6, 8 y 10 años) en el municipio de El Tuma - La Dalia, Matagalpa. La metodología se basó en la propuesta por ANACAFE, modificada en las escalas de evaluación y los indicadores de calidad de suelo. Como resultado de la evaluación, las fincas El Manantial (10 años) y Los Laureles (8 años) presentaron mejor estado de conservación del agua (calidad máxima 3), por la existencia de mayor cobertura vegetal. En lo que respecta a la calidad del agua, las fincas El Manantial y Los Laureles presentaron mejor calidad en la mayoría de los indicadores (calidad 3 y 2), y en desechos sólidos la mejor calidad (3) se encontró en las fincas San Israel y El Manantial. En base a la evaluación de la conservación de suelos, las fincas El Manantial y San Israel presentan mejor conservación y calidad de los suelos (calidad entre 2 y 3). Con respecto a la conservación de biodiversidad los resultados difieren ampliamente en cada una de las fincas. Finalmente, la fijación de carbono fue mayor en la finca El Manantial, debido a que el sistema presente es de mayor edad y más desarrollado en comparación con los otros dos sistemas presentes en la comunidad.

## **ABSTRACT**

The objective of this study was to evaluate the quality of the environmental services generated by agroforestry systems with coffee and cocoa under shade, through twenty - two indicators; grouped by environmental service (water conservation, carbon sequestration, soil conservation and biodiversity conservation), in 2015 in three diversified farms with different levels of intermediate and advanced restoration (6-8 and 10 years) in the municipality of The Tuma, La Dalia, Matagalpa. The methodology was based on the one documented by modified ANACAFE, in the evaluation scales and the indicators of soil quality. As results of the evaluation the farms El Manantial (10 years) and Los Laureles (8 years) presented better state of conservation of the water (maximum quality 3), due to the existence of greater vegetation cover. According to the water quality, El Manantial and Los Laureles farms presented better quality in most of the indicators (quality 3 and 2) and solid waste with better quality (3) in the San Israel and El Manantial farms. Based on the evaluation of soil conservation, El Manantial and San Israel farms have better soil quality and quality (quality between 2 and 3). With respect to biodiversity conservation, the results differ widely in each of the farms. Finally, the carbon fixation was greater in the El Manantial farm, because the present system is older and more developed compared to the other two systems present in the community.

## I. INTRODUCCION

El sector rural de Nicaragua ha sido escenario de la aplicación de diferentes enfoques y estrategias para el desarrollo productivo, entre las que se destacan, el desarrollo comunitario, reforma agraria, revolución verde, la participación de los pobres, tecnologías apropiadas, entre otras; sin embargo, la realidad demuestra el poco impacto y/o efectos negativos en la mejora de la calidad de vida de la población rural. La disminución de la productividad y degradación de los diferentes ecosistemas son la mejor evidencia de que la aplicación de tales enfoques y estrategias, lejos de traer el tan esperado desarrollo, han provocado mayor pobreza, inequidad y deterioro de los recursos naturales y el ambiente.

El Tuma – La Dalia es un municipio del departamento de Matagalpa, en el cual desde inicios de del siglo XX se dio la expropiación de tierras para el establecimiento de café, por parte de la élite matagalpina. En la década de los años 80 se dio un cambio en la tenencia de la tierra, en favor del campesinado. Sin embargo, en el proceso ocasiono cambios en el manejo de la tierra, ya que se pasó de un cultivo de café bajo sombra a sistemas de cultivos anuales y pastos en áreas de laderas, si las obras de conservación de suelos necesarias para evitar el deterioro de los suelos.

Por otro lado, a partir de 1990 se viene dando un proceso de reconcentración de tierra, que, junto al deterioro de los agroecosistemas, pone en desventaja a las familias campesinas. Esto es lo que propició la incursión de organismos no gubernamentales, tales como la Asociación para la Diversificación y el Desarrollo Agrícola y Comunal (ADDAC), que promueve un desarrollo rural sostenible. La estrategia de ADDAC es fomentar prácticas agroecológicas, sistemas agroforestales (SAF) que incluyen café y cacao, la organización, banco de tierra y fondos revolventes. El caso de los SAF es una estrategia que genera ingresos a las familias, pero también servicios ambientales.

Los servicios ambientales son condiciones y procesos de los ecosistemas y agroecosistemas que generan múltiples beneficios para los individuos y las comunidades. Como ejemplo de estos servicios están la conservación de agua, suelo, fijación de carbono, belleza escénica, satisfacción de las necesidades culturales, espirituales y recreativas, que contribuyen a que la población tenga una vida digna (MEA, 2005).

Según MEA (2005), en los últimos 50 años los seres humanos han transformado los ecosistemas extensa e intensivamente más rápido que en ningún otro periodo de tiempo comparable en la historia, debido al acelerado incremento poblacional, que genera una creciente demanda de alimentos, agua dulce, madera, fibra y combustible; para cubrir esta demanda, han aumentado las áreas agrícolas en detrimento de la cobertura de bosques y ha habido un uso indiscriminado de insumos sintéticos.

Esta creciente demanda de alimentos y la sobreexplotación de los recursos naturales tienen efectos negativos en la capacidad de los ecosistemas para brindar bienes y servicios de forma permanente; sin embargo, en algunos casos, dependiendo del manejo, los ecosistemas intervenidos por el hombre pueden ofrecer una variedad de servicios. Ejemplo de ello es que agro ecosistemas bien manejados con implementación de prácticas de conservación de suelos y agua, pueden reducir la pérdida de la fertilidad del suelo y mejorar la disponibilidad y calidad del agua (Retamal *et ál.*, 2008).

Al ser los servicios ambientales vulnerables a actividades humanas, es importante desarrollar métodos de evaluación de éstos, para determinar el estado actual en que se encuentran y sobre todo la tendencia que puedan tener a corto, mediano y largo plazo, con el fin de poder determinar la sostenibilidad de un ecosistema o agro ecosistema. El desarrollo de herramientas de evaluación siempre será indispensable para la valoración permanente de los servicios, como es el caso de los indicadores de sostenibilidad, que se interpretan como un sistema de señales que facilita la evaluación de los procesos de desarrollo (Pico, 2011).

En este contexto, el presente estudio pretende determinar cuál es la contribución en la provisión de servicios ambientales, que hacen los sistemas agroforestales con café y cacao, en fincas de productores(as) apoyadas por ADDAC, con diferentes niveles de desarrollo (inicial, medio y avanzado), de modo que la información generada ayude a tomar decisiones y reoriente la implementación de buenas prácticas, útiles para el cambio del uso del suelo desde sistemas convencionales a sistemas sostenibles y amigables con el ambiente.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Evaluar cuatro servicios ambientales presentes en los sistemas agroforestales de café y cacao en estado de desarrollo inicial, intermedio y avanzado, en tres fincas ubicadas en el municipio de Tuma - La Dalia, Matagalpa, Nicaragua, 2015.

### **2.2. Objetivo específicos**

- ✓ Caracterizar las tres fincas con sistemas agroforestales con café y cacao bajo sombra, mediante indicadores productivos, ambientales y sociales.
  
- ✓ Evaluar los servicios ambientales de conservación de agua, biodiversidad, suelo y fijación de carbono en los sistemas agroforestales café y cacao bajo sombra, mediante el índice ecológico adaptado de la metodología ANACAFE.
  
- ✓ Identificar la relación entre la calidad del servicio ambiental y el estado de desarrollo de los sistemas agroforestal café y cacao bajo sombra, en las tres fincas estudiadas.

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Ubicación del estudio

El presente estudio se llevó a cabo en el municipio de El Tuma-La Dalia, Matagalpa. De acuerdo a la caracterización municipal publicada por INIFOM en el año 2001, el municipio El Tuma - La Dalia fue fundado en 1989; forma parte del departamento de Matagalpa localizado en la parte central norte de Nicaragua. Este municipio se ubica a 175 kilómetros de la ciudad de Managua y 45 kilómetros de la cabecera departamental, entre las coordenadas 13° 7' 59.88" Latitud Norte y 85° 43' 59.88 Longitud Oeste; cuenta con una extensión territorial de 462 Km<sup>2</sup>. El municipio está compuesto por una cabecera municipal (La Dalia) y 16 comarcas que son: El Bijao, El Quilile, La Tronca, El Grabadillo, Piedra Luna, Agua Amarilla, El Guapotal, El Turna, Yasica Norte, El Coyolar, La Fila Grande, El Yale, Garateras, El Pavón, Peñas Blancas y Las Nubes. (Figura 1)

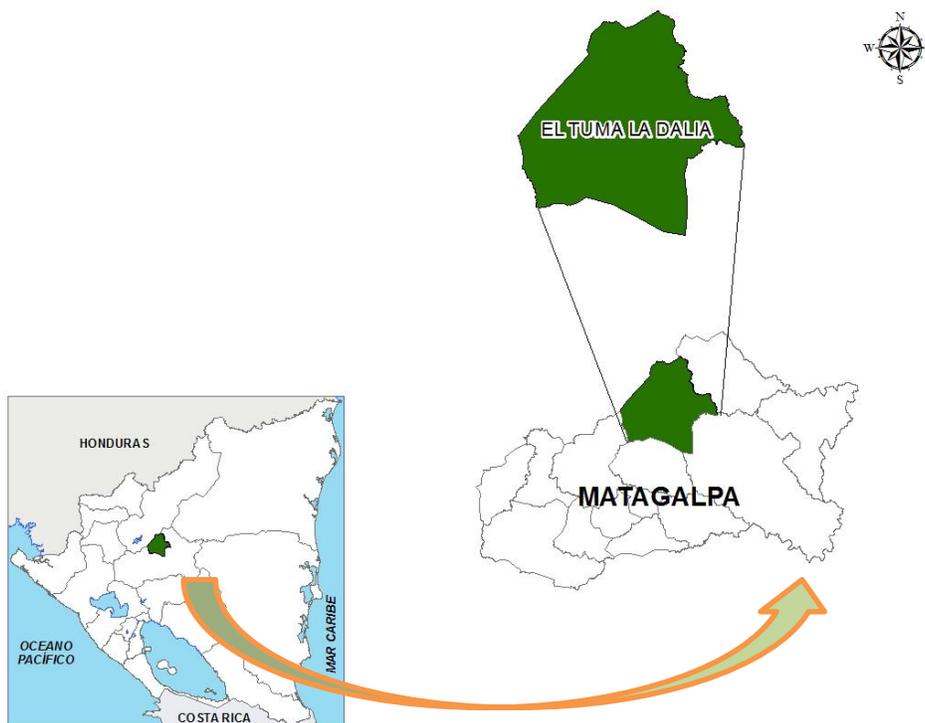


Figura 1. Ubicación geográfica de El Tuma, La Dalia.

## **3.2. Características generales del Municipio de El Tuma, La Dalia**

### **3.2.1. Aspectos biofísicos**

#### ***a. Geomorfología y suelos***

Según Blandino y Malespín (2003), el municipio se caracteriza por presentar una geografía montañosa; se estima que el 60 % del territorio es accidentado, con pendientes que oscilan desde fuertemente ondulado a muy escarpado. Las elevaciones más importantes son los cerros Peñas Blancas (1650 msnm), Carateras (700 msnm), El Coyolar (450 msnm) y Piedra Luna (600 msnm).

La profundidad de los suelos varía desde moderadamente profunda, poco profunda a superficial. Presentan un grado de erosión moderada a fuerte. Predominan los suelos del orden Alfisoles, con textura de franco arcillosa y arcillosa, desarrollados a partir de rocas volcánicas intermedias y básicas. En menor extensión se encuentran los suelos de los órdenes Molisoles y Vertisoles. La geología, la topografía accidentada y las prácticas inadecuadas de uso del suelo favorecen un alto riesgo de deslizamientos de tierras en periodos de precipitaciones muy elevadas (huracanes).

#### ***b. Hidrografía***

La hidrografía del municipio está compuesta por ríos y quebradas. El río más importante es El Tuma que atraviesa la parte suroeste del territorio; entre sus afluentes se encuentran los ríos Bijao, Bul, Yasica, Caratera y el Río Wasaka (Blandino y Malespín 2003).

#### ***c. Clima***

Según la clasificación bioclimática de Holdridge, citado por Blandino y Malespín (2003), el clima del municipio corresponde a un Bosque Subtropical Semi-humedo (BSS), con una precipitación anual de 2000 a 2500 milímetros y una temperatura media de 22 a 24 °C. En las partes más altas como el Pico de Peñas Blancas se presenta un clima templado húmedo, donde las temperaturas bajas alcanzan los 18 °C.

La estación lluviosa se extiende de mayo a noviembre, y la seca o verano dura alrededor de 5 meses (diciembre a abril); el periodo de sequía dura unos tres meses y medio (de febrero a mediados de mayo), con una precipitación de 35 mm.

**d. Biodiversidad: flora y fauna**

De acuerdo con Salas, citado por Blandino y Malespín (2003), el municipio se encuentra dentro de la Región Ecológica II (Norcentral) y abarca cuatro formaciones vegetales:

- Bosques medianos o altos sub perennifolios de zonas moderadamente cálidos y húmedos (0 - 500 msnm, 1500 - 2000 mm/año, 22° - 24°C).
- Bosques medianos o altos perennifolios de zonas muy frescas y húmedas (500 – 1000 msnm, 1500 - 2000 mm/año, 19° -22°C).
- Bosques medianos o altos perennifolios de zonas muy frías y húmedas (1000 -1500 msnm, 1500 - 2000 mm/año, 19° - 22°C).
- Bosques medianos o altos perennifolios de zonas muy frías y muy húmedas (nebliselva de altura), (1500 - 1750 msnm, 2000 - 2750mm/año, 18° -21°C).

De acuerdo a las formaciones ecológicas existentes la biodiversidad originalmente ha sido muy alta, presentando una convergencia entre especies de flora y fauna de los hemisferios norte y sur.

Existen además un gran número de especies endémicas, sobre todo en los bosques de altura (helechos, líquenes, musgos, orquídeas). Sin embargo, la alta diversidad de formas de vida (vegetal y animal) ha sido afectada y reducida en gran medida por la expansión de la actividad humana (agrícola), ya que en la actualidad menos del 10% de la superficie del municipio está cubierto con áreas de bosques y gran parte de las especies todavía existentes, siguen siendo amenazadas por la expansión de las actividades agrícolas.

### **3.2.2. Aspectos socioeconómicos**

#### ***a. Población y educación***

La población total del municipio es de 64,287 habitantes (Mairena, 2010). Según datos del INIDE (2014), la matrícula inicial a nivel de preescolar, primaria y secundaria para el año 2014 fue de 17,250 estudiantes.

#### ***b. Sistemas productivos***

La actividad agropecuaria que predomina dentro de los sistemas de producción es el café, cosechándose aproximadamente 360,000 quintales oro, según los datos para el ciclo del año 2008- 2009 de la Asociación de Cafetaleros del Norte de Matagalpa. Existen aproximadamente 1,400 pequeños productores y 2,500 grandes productores de café, con una tenencia de la tierra que oscila en los rangos de 20 y 50 manzanas los pequeños y de 200 a 400 manzanas los grandes productores. El segundo lugar lo ocupa el rubro de granos básicos (maíz y frijol), siendo unos de los principales en la dieta alimenticia de la población. La tercera posición la ocupa el ganado mayor (Mairena, 2010).

### **3.3. Proceso metodológico**

El proceso metodológico planteado para llevar a cabo el estudio está basado en tres etapas, tal como se ilustra en la figura número 2.

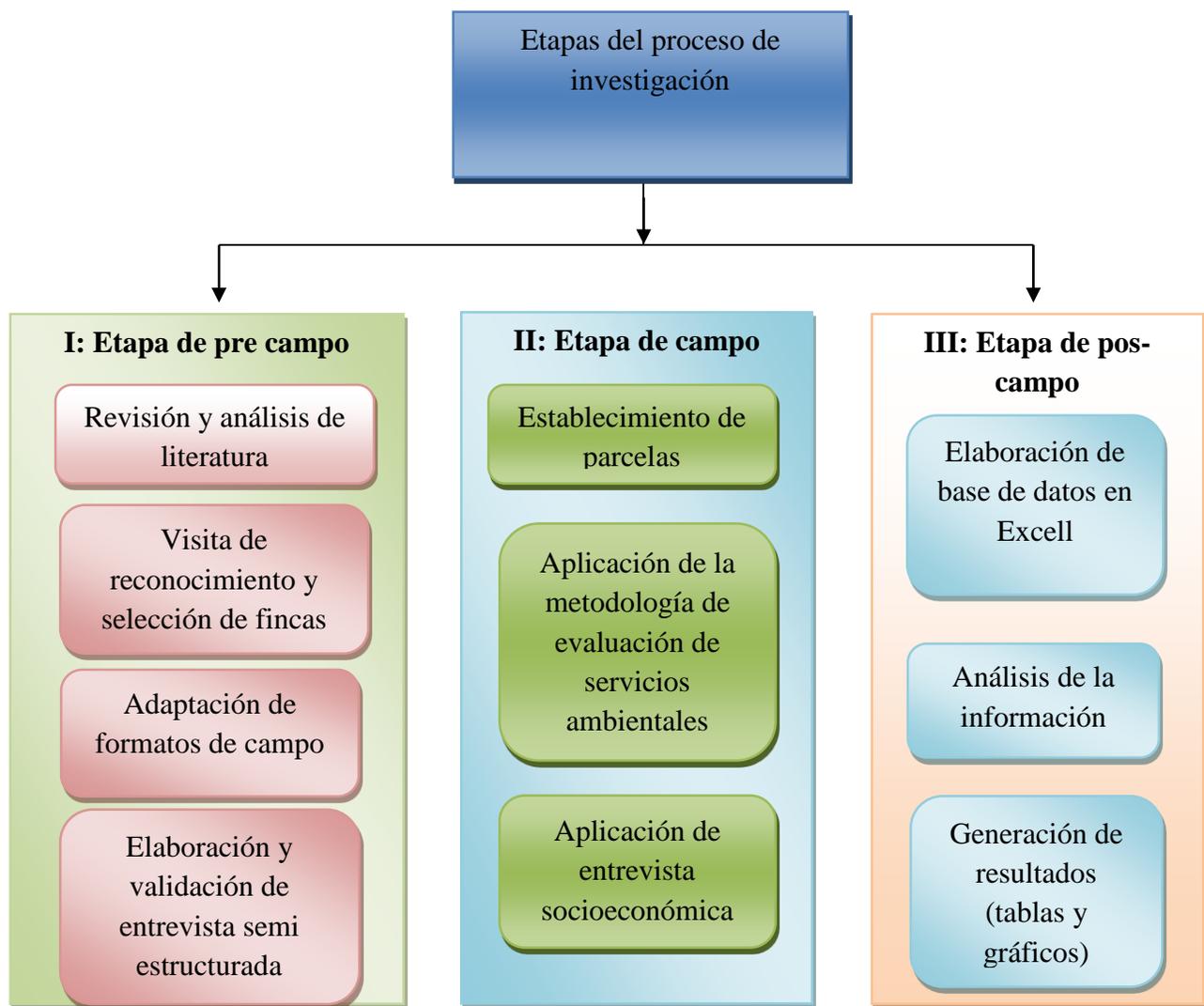


Figura 2. Diseño Metodológico.

### 3.3.1. Etapa de pre campo

Consistió en la etapa de preparación y de planeación del estudio.

#### *a. Revisión y análisis de literatura*

Se procedió a indagar sobre la literatura relacionada a los sistemas agroforestales y sus beneficios, situación biofísica y socioeconómica del municipio El Tuma – La Dalia, entre otros.

#### ***b. Visita de reconocimiento y selección de fincas***

Inicialmente se hizo una visita a las tres fincas preseleccionadas por el personal técnico de ADDAC; para la selección de las fincas que formaron parte del estudio se valoró y se tomó en cuenta que las fincas contaran con un sistema agroforestal café y cacao bajo sombra, que los productores fueran beneficiados con bancos de tierra por parte de ADDAC, y que el propietario tuviera disposición a colaborar en el estudio; a su vez, las fincas se debían encontrar en los tres niveles de desarrollo de los SAF (inicial, intermedio y avanzado).

#### ***c. Adaptación de formatos para levantamiento de campo***

Para la recolección de información en el campo; se utilizaron los formatos de la guía metodológica para la evaluación de servicios ambientales propuesta por ANACAFE (2006), agregando al formato servicio de conservación de suelo el criterio de calidad de suelo, evaluando los indicadores macrofauna, materia orgánica y cobertura de suelo. (Anexo 3)

#### ***d. Validación de entrevista semi estructurada***

La entrevista permito indagar sobre los aspectos socioeconómicos de las familias, la cual fue validada en algunas fincas de la zona, esto permitió mejora la estructura de las preguntas que permitiera información más confiable. (Anexo 1)

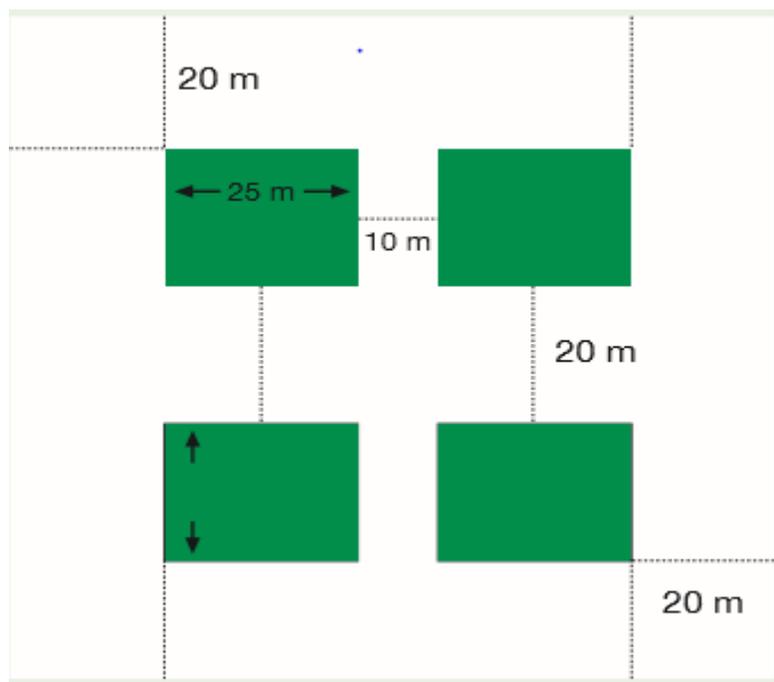
### **3.3.2. Etapa de campo**

Consistió en la etapa medular del estudio, ya que en esta etapa se procedió a recolectar los datos en el campo.

#### ***a. Establecimiento de las parcelas***

Para establecer las parcelas de medición se seleccionó un lote representativo de la finca, el cual contaba con sistema agroforestal de café y cacao; dicho lote era de una hectárea, para establecer a lo interno 4 subparcelas de 500 metros cuadrados cada una. Para el encuadre de las subparcelas primero se localizó una esquina y con la ayuda de una brújula y una cinta métrica se procedió a cuadrar el área, dejándose bordes de 20 metros hacia los extremos y 10 m entre subparcelas. (Figura 3.)

Figura 3. Arreglo espacial de las parcelas.



En cada una de las subparcelas se recolectaron los datos necesarios para evaluación de los cuatro servicios ambientales (conservación de agua, fijación de carbono, conservación de suelo y conservación de biodiversidad) considerados en el estudio.

***b. Aplicación de la metodología de evaluación de servicios ambientales***

Para llevar a cabo la evaluación se utilizó la “Metodología para la evaluación de servicios ambientales”, desarrollada por Medina y Muñoz (2008), la cual plantea valorar los servicios ambientales de conservación de agua, suelo, biodiversidad y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café. Para ello se utilizan criterios e indicadores: un criterio corresponde a un aspecto considerado importante para la evaluación de un servicio ambiental; un indicador, es una característica cuantitativa, cualitativa o descriptiva, que se puede medir o controlar periódicamente, y permite indicar la dirección de los cambios producidos.

Cada servicio ambiental puede estar conformado de uno o dos criterios, y cada criterio puede estar conformado de dos hasta cinco o seis indicadores, tal como se describe en el Cuadro 1. Cabe destacar que para la evaluación se definió una escala de puntuación de 1 a 3; calificando como 1 bajo, 2 medio y 3 alta.

**Cuadro 1.** Descripción de los servicios ambientales, criterios e indicadores considerados en el estudio.

<b>Servicio ambiental</b>	<b>Criterio</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Método</b>
Biodiversidad	Calidad de hábitat	Número de estratos arbóreos.	Conteo directo
		Número de especies de árboles nativos por hectárea	Conteo directo
		Número de árboles y arbustos mayor a 5 cm DAP en una hectárea	Conteo directo
		Valoración cualitativa de incidencia de epifitas en los árboles	Observación
		Porcentaje de cobertura de sombra	Monitoreo por planta de café
	Uso de agroquímicos	Número de aplicaciones de herbicidas	Encuesta
		Número de aplicaciones de pesticidas	Encuesta
Número de aplicaciones de fertilizantes		Encuesta	
Fijación de carbono	Carbono fijado por árboles y arbustos	Toneladas de carbono fijado de especie arbórea por ha	Modelo alométrico
		Toneladas de carbono fijado por los sistemas de cultivo.	Modelo alométrico
Conservación de suelo	Conservación de suelo	Erosión laminar	Observación de huellas de erosión laminar
		Cárcavas	Huellas máximas
		Infiltración de agua en el suelo	Cilindro
		Pendiente	Aparato A
		Deslizamiento	Observación
		Sedimentación	Observación
	Calidad de suelo	Macrofauna	Método monolítico del pie cúbico
		Materia orgánica	Método Walkley & Black, 1946
Cobertura de suelo		% en m <sup>2</sup>	
Conservación del agua	Conservación de Agua	Vegetación	m <sup>2</sup>
		Presencia de obras de conservación	Observación
		Presencia de cunetas para retener agua	Observación

		Canales de desagüe	Observación
	Calidad de agua	Vertido de aguas mieles	Observación
		Uso de agroquímicos	Observación
		Presencia de desechos sólidos en aguas superficiales	Observación
		Vertido de aguas negras a cuerpos de agua	Observación
		Vertido de aguas grises a cuerpos de agua	Observación

### *c. Aplicación de entrevista semi estructurada*

El instrumento se aplicó a los propietarios de las fincas con el fin de caracterizar los aspectos socio-económicos de las familias que manejan los sistemas agroforestales bajo estudio.

### **3.2.3. Etapa de pos- campo**

En esta etapa final del estudio se procedió a procesar la información recolectada en el campo y luego se hizo un análisis y síntesis de los principales resultados.

#### *a. Elaboración de base de datos en Excell*

Una vez obtenido los datos de campo se elaboró la respectiva base de datos, utilizando el programa Excell.

#### *b. Análisis de la información*

Conforme a la información de campo se procedió a su respectivo análisis. Cabe destacar que dentro de este proceso se tomaron en consideración las fórmulas que se detallan a continuación. Para la determinación de biomasa y cálculo de carbono, se utilizaron las formulas propuestas por Suarez (2004, citada por Medina y Muñoz, 2008):

#### ➤ Cálculo de Biomasa

##### *En árboles del dosel de sombra en cafetales:*

$$\text{Log}_{10}y = -0.9578 + 2.3408 \text{Log}_{10}(D), (R^2 \text{ adj} = 0.94)$$

Dónde:

y = biomasa aérea total (kg/árbol).

D = diámetro a la altura del pecho (cm).

##### *En las plantas de Café:*

$$\text{Log}_{10}BT = -1.15 + 1.66*\text{Log}_{10}(D15) + 0.54*\text{Log}_{10}(H),$$

(r<sup>2</sup> ajustado 0.95)

Dónde:

y = biomasa aérea total (kg/planta).

D15 = diámetro del tronco a 15 cm del suelo (cm).

H: es la altura total (m).

***En Musáceas:***

$y = 185.12.09 + 881.9471 * (\text{LOG } (H)/H^2) / 1000$

Dónde:

H: es la altura (m).

Y: es biomasa (g).

➤ **Cálculo de Carbono**

Para el cálculo del carbono se utilizó la fórmula propuesta por Segura (1999, citada por Umanzor, 2015).

$CA = B * Fc$

Donde:

CA: Carbono almacenado, (ton ha<sup>-1</sup> de C)

B: Biomasa total (ton ha<sup>-1</sup> B)

FC: Fracción de carbono que en este caso se utilizó 0,5 establecido por el Panel Intergubernamental de Cambio climático (IPCC).

***c. Presentación de resultados***

Luego del procesamiento de los datos recolectados en el campo, se hizo una representación de los resultados obtenidos mediante gráficos de araña y la respectiva interpretación de cada uno de los servicios ambientales considerados en el presente estudio.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1. Descripción socioeconómica de las fincas

#### 4.1.1. Finca Manantial (estado avanzado, 10 años)

La finca “Manantial” es propiedad del señor Manuel García; es eminentemente orgánica, ya que no se aplican agroquímicos. Esta finca se encuentra ubicada en la comunidad de “San Benito”, municipio de El Tuma- La Dalia, la cual tiene un área de 7 manzanas. Esta propiedad ha venido siendo mejorada por el señor García, con el apoyo financiero de diferentes organismos, tales como Acción Medica cristiana (AMC), ADDAC, Banco Produzcamos y la Cooperativa Flor de Dalia.

El núcleo familiar está compuesto por 2 personas. Los principales ingresos que esta familia percibe provienen de las cosechas de los cultivos de café, cacao, musáceas, y cítrico en menor proporción. Además, se perciben ingresos a través de la apicultura y venta de abonos orgánicos.

Los principales recursos con los que se cuentan son agua, energía solar, acceso a la tierra, recursos forestales, a los cuales tanto el hombre como la mujer tienen igual acceso y control de los mismos.

Desde el punto de vista productivo, se trata de sistemas diversificados jóvenes (tiempo estimado de restauración), dado que en el pasado estas tierras eran utilizadas con fines pecuarios (pasturas degradadas). Hoy en día, con el apoyo de organismos como ADDAC, en esta y otras comunidades se ha ido transformando los sistemas convencionales hacia un uso de la tierra diversificado, con sistemas agroforestales que incluyen cultivos perennes y semi perennes.

Esto ha venido transformando el manejo de los suelos; en la actualidad se promueve que los suelos se manejen bajo un enfoque de agricultura orgánica, lo cual viene a mejorar el entorno, tanto del suelo como las condiciones medioambientales del sitio, a la vez que se aumenta el rendimiento de los cultivos.

#### **4.1.2. Finca Los Laureles (estado intermedio, 8 años)**

La finca “Los Laureles” es propiedad del señor Amado Mendoza, ubicada en la comunidad “El Consuelo” municipio de El Tuma- La Dalia; comprende un área de 7 manzanas; en ella se emplean buenas prácticas agrícolas bajo el enfoque de agricultura orgánica, excluyendo la aplicación de agroquímicos. La propiedad fue adquirida con el apoyo financiero de ADDAC.

El núcleo familiar está compuesto por 8 personas; los principales ingresos de esta familia provienen de las cosechas de los cultivos café, cacao, musáceas, yuca, malanga y cítricos; así mismo, perciben ingresos de la apicultura.

Los principales recursos con los que se cuentan son agua, energía solar, acceso a la tierra, recursos forestales, a los cuales tanto el hombre como la mujer tienen igual acceso y control de los mismos.

#### **4.1.3. Finca San Israel (estado inicial, 6 años)**

La finca “San Israel” es propiedad de la señora Carmenza Arauz Hernández; está ubicada en la comunidad “Aguas amarillas #2” del municipio de El Tuma- La Dalia. Comprende un área de 7 mz; esta propiedad fue adquirida con el apoyo financiero de ADDAC.

El núcleo familiar está compuesto por 8 personas; los principales ingresos de esta familia provienen de las cosechas de los cultivos de café, cacao, yuca, maíz y musáceas. Los principales recursos con los que se cuentan son agua potable, acceso a la tierra, recursos forestales, a los cuales el hombre y la mujer tienen igual acceso y control de los mismos. En la actualidad, se está empezando a emplear buenas prácticas agrícolas bajo el enfoque de agricultura orgánica, con el objetivo de mejorar las condiciones medioambientales del sitio, a la vez que se incrementa el rendimiento de los cultivos.

En el pasado estas tierras eran utilizadas con fines pecuarios (pasturas degradadas), pero gracias a las acciones promovidas por ADDAC el manejo del sistema productivo se ha visto transformado, mediante el establecimiento de sistemas agroforestales que incluyen café, cacao y musáceas bajo el enfoque de la agricultura orgánica, lo cual ha venido a mejorar las condiciones del suelo y del entorno, a la vez que se mejora el rendimiento de los cultivos.

## 4.2. Evaluación de los servicios ambientales

### 4.2.1. Servicio ambiental conservación del agua

Para evaluar el servicio conservación del agua se utilizaron 2 criterios: conservación de agua y calidad de agua. Para el criterio de conservación de agua se tomaron en cuenta 4 indicadores: vegetación, presencia de obras de conservación, presencia de cunetas para retener agua, canales de desagüe. Para el criterio calidad de agua se tomaron en cuenta 5 indicadores: vertido de aguas mieles, uso de agroquímicos, presencia de desechos sólidos en aguas superficiales, vertido de agua negras a cuerpos de agua, vertido de aguas grises a cuerpos de agua. Para ello se definió una puntuación de 1 a 3 y la evaluación se realizó a nivel de finca.

Los resultados indican (ver figura 4) que en el **indicador vegetación** (indicador 1) en las fincas El Manantial y Los Laureles presentan mejor estado de conservación, alcanzando la mejor puntuación con referencia a la escala máxima, debido a que existe vegetación de protección. Por su parte, la finca San Israel obtuvo la puntuación mínima de la escala, debido a que no se ha establecido vegetación de protección; por tanto, esta finca presenta un estado mínimo de conservación de agua, según este indicador. Cabe señalar que la vegetación protección evita que los suelos sean erosionados

En lo que respecta a los indicadores obras de **conservación de suelos** (indicador 2), **cunetas** (3) y **desagües** (4), se obtuvo la puntuación mínima debido a la ausencia o la poca presencia en las 3 fincas. Esto hace indicar que las estructuras de conservación de suelo y agua no han sido prioridad para las familias en estudio.

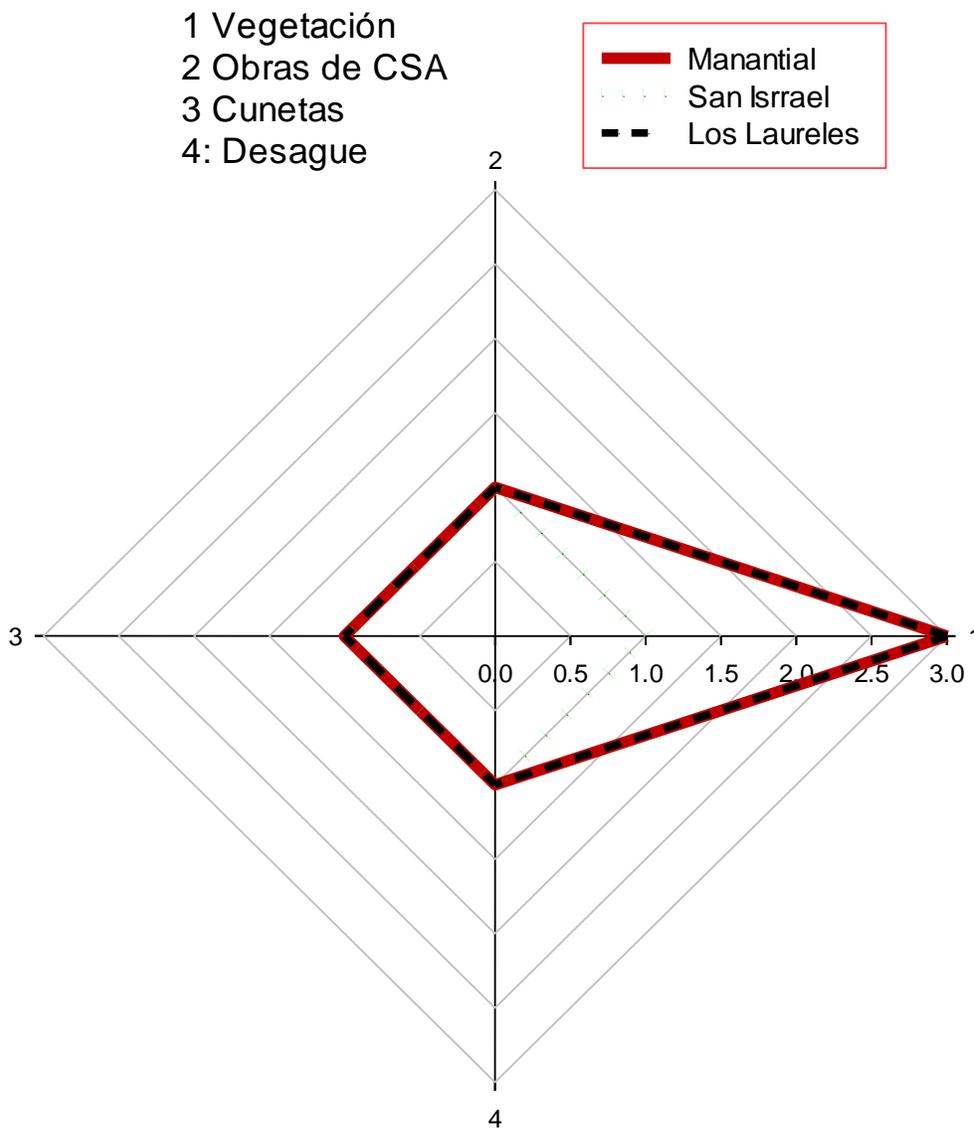


Figura 4. Estado de la conservación de agua en las fincas cafetaleras El Manantial, San Israel y Los Laureles. El Tuma, La Dalia, 2015.

De acuerdo a los resultados se puede decir que las fincas El Manantial y Los Laureles presentan un mejor estado de conservación de agua; mientras que la finca San Israel obtuvo la puntuación mínima, debido a que la vegetación está en proceso de desarrollo.

Según Constanza *et al.* (1998, citado por Pico, 2011), el servicio ambiental hídrico se refiere a la capacidad que tienen los ecosistemas para captar agua y mantener la oferta hídrica a los individuos y a la sociedad en general.

En este sentido, es importante resaltar el rol fundamental que juegan los sistemas agroforestales en el flujo y conservación del agua. Tal como plantea Villanueva *et al.* (2011), la presencia de árboles y arbustos regulan los cursos de agua y conservan los manantiales; permiten que el agua penetre lentamente en el suelo, previniendo el exceso de escorrentía; la hojarasca de los árboles genera una disminución del impacto de la fuerza del agua en el suelo, disminuyendo la erosión y mejorando su filtración. Los sistemas radiculares de árboles y arbustos facilitan la circulación del agua en el suelo y disminuyen la escorrentía superficial; en los bordes de los ríos controlan las inundaciones, previenen la pérdida de suelo, regulan el flujo y reducen directamente la evapotranspiración del agua.

Por otro lado, hay que resaltar la función de los SAF en el aumento de la cobertura, y por ende en la mejora del ciclo hidrológico a nivel de cuenca y en el aumento de la disponibilidad de agua en el futuro. Según Stadtmuller (1994, citado por Pico, 2011), entre las prácticas de conservación de agua, está el mantener la cobertura forestal en las microcuencas, lo que aporta al cuidado y mantenimiento del agua, evita la erosión y la sedimentación.

Tal como indica Pico (2011), el consumo de agua aumenta cada 20 años y para el 2025 la tendencia es a incrementarse en un 56%, lo cual trae consigo consecuencias ecológicas, sociales y económicas a nivel mundial. Debido a esta tendencia, se debe tener presente la adopción de prácticas de conservación del recurso, y comenzar a preservar los ecosistemas que contribuyen a mantener la disponibilidad en calidad y cantidad de agua.

En lo que respecta a la calidad del agua, los resultados muestran que en el indicador manejo de aguas mieles (indicador 1) la finca El Manantial presenta el nivel óptimo (ver figura 5), ya que se da un buen manejo de estas aguas dentro de la finca, mientras que en las fincas San Israel y Los Laureles alcanzan un valor medio con referencia a la escala de puntuación, en vista que en ambas fincas no se da un manejo apropiado de las aguas mieles.

Cabe señalar que el manejo de aguas mieles consiste en evitar que estas aguas provenientes de los beneficios de café contaminen los cuerpos de agua, para ello son necesario los canales de desagüe.

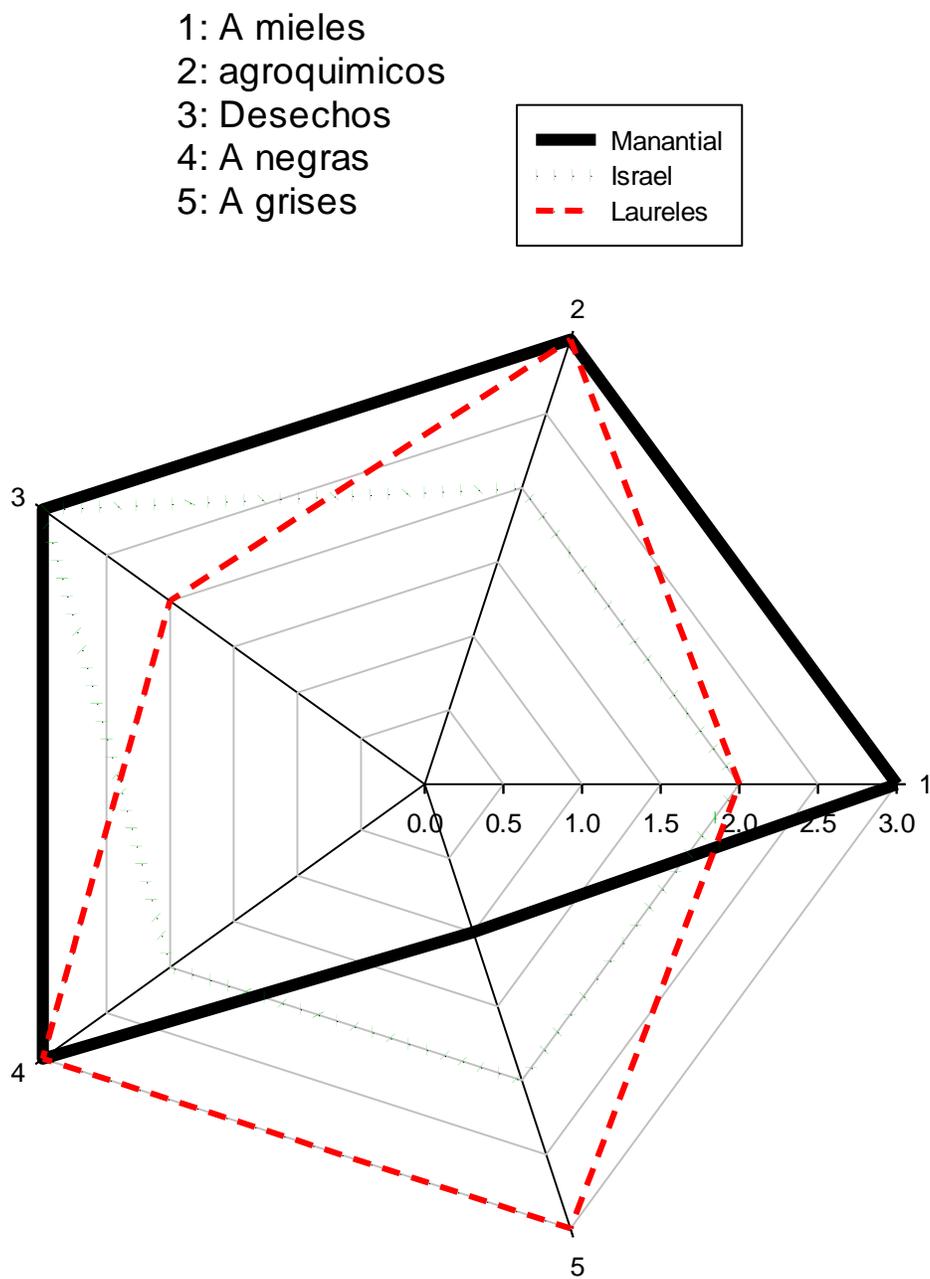


Figura 5. Estado de la calidad de agua utilizada en las fincas cafetaleras El Manantial, San Israel y Los Laureles. El Tuma - La Dalia, 2015.

Este es un aspecto a superar en función de mejorar la calidad del vital líquido en los cuerpos de agua, ya que según Blandino y Malespín (2003), en el municipio se producen unos 200,000 quintales de café oro, que corresponden a más del 10% de la producción nacional. No obstante, los subproductos del beneficiado húmedo del café (pulpa y aguas mieles) están siendo vertidos en su gran mayoría a los cuerpos de agua, causando una fuerte carga orgánica contaminante que vuelve inutilizable el agua para el consumo y daña la flora y fauna acuática. El cuerpo de agua más afectado por los desechos del beneficiado húmedo del café, lo constituye el río Tuma.

Es necesario implementar alternativas amigables con el medio ambiente que vayan orientadas a la protección y preservación de las fuentes hídricas.

El **manejo de agroquímicos** (indicador 3) en las fincas El Manantial y Los Laureles presenta la mejor puntuación, debido a que en ambas fincas no se utilizan agroquímicos; mientras que la finca San Israel alcanzó un nivel medio, debido a que se hace uso de pesticidas, herbicidas y fertilizantes en los cultivos, por lo cual se debe promover el uso de productos orgánicos.

El nulo o poco uso de agroquímico en las fincas estudiadas es un gran aporte a la disminución de la contaminación del agua. Según Blandino y Malespín (2003) el uso excesivo y manejo inadecuado de agroquímicos, principalmente en los cultivos de café y granos básicos es otra fuente de contaminantes de los cuerpos de agua, lo que afecta seriamente a la salud humana, a la fauna y flora acuática.

El **manejo de desechos** (indicador 4) en las fincas El Manantial y San Israel es adecuado, lo cual las hace alcanzar la puntuación máxima; la finca Los Laureles alcanzó una puntuación media, debido a que no se maneja adecuadamente los desechos dentro de la finca.

El manejo adecuado de las **aguas negras** (indicador 5) lo practican las fincas El Manantial y Los Laureles; mientras que en la Finca San Israel no se realiza un adecuado manejo de las mismas.

En relación al manejo de **aguas grises** (indicador 6) se identificó claramente diferencias entre cada una de las fincas; la finca Los Laureles obtuvo un nivel óptimo de manejo, seguida por la finca San Israel con un nivel medio, y finalmente la finca El Manantial con un nivel bajo.

De acuerdo a los resultados de la evaluación de los 5 indicadores, se puede apreciar que las fincas El Manantial y Los Laureles sufren menos efectos de contaminación, en comparación con la finca San Israel.

Tal como plantea Pico (2011), según una encuesta aplicada a productores en Costa Rica por lo general no se da el manejo de agua mieles, esta actividad se centraliza en los beneficios donde los productores depositan sus cosechas quienes se encargan del manejo de agua. En el caso del manejo de la contaminación por combustibles y aceites, la mayoría de los productores dan el mantenimiento al equipo e instrumentos de trabajo en los talleres. Además, se encontraron productores que lavan sus equipos de fumigación en sitios con bajo riesgo de contaminación para ríos o vertientes de agua, tales como en filtros de piedra y arena, mientras que otros lo hacen en el suelo lejos de nacientes de agua.

#### **4.2.2. Servicio ambiental conservación de suelo**

Los deslizamientos de tierra y la erosión son menos frecuentes en áreas con vegetación arbustiva y herbácea; los sistemas radiculares de las distintas especies de árboles crecen a distintas profundidades en el sub suelo, lo que genera mejor retención del suelo; la raíces extraen agua y nutriente que se depositan en la superficie del suelo en forma de hojas, ramas y frutos (Villanueva *et al*, 2011).

Para el servicio conservación del suelo se utilizaron 2 criterios: conservación de suelo y calidad de suelo; para el criterio conservación de suelo se evaluaron 6 indicadores (erosión laminar, cárcavas, Infiltración de agua en el suelo, pendiente, deslizamientos, sedimentación), y para el criterio calidad de suelo se evaluaron 3 indicadores (macrofauna, materia orgánica, cobertura de suelo). Para ello se definió una escala de puntuación de 1 a 3.

- 1: Erosión
- 2: Cárcavas
- 3: Infiltración
- 4: Pendiente
- 5: Deslizamiento
- 6: Sedimentación

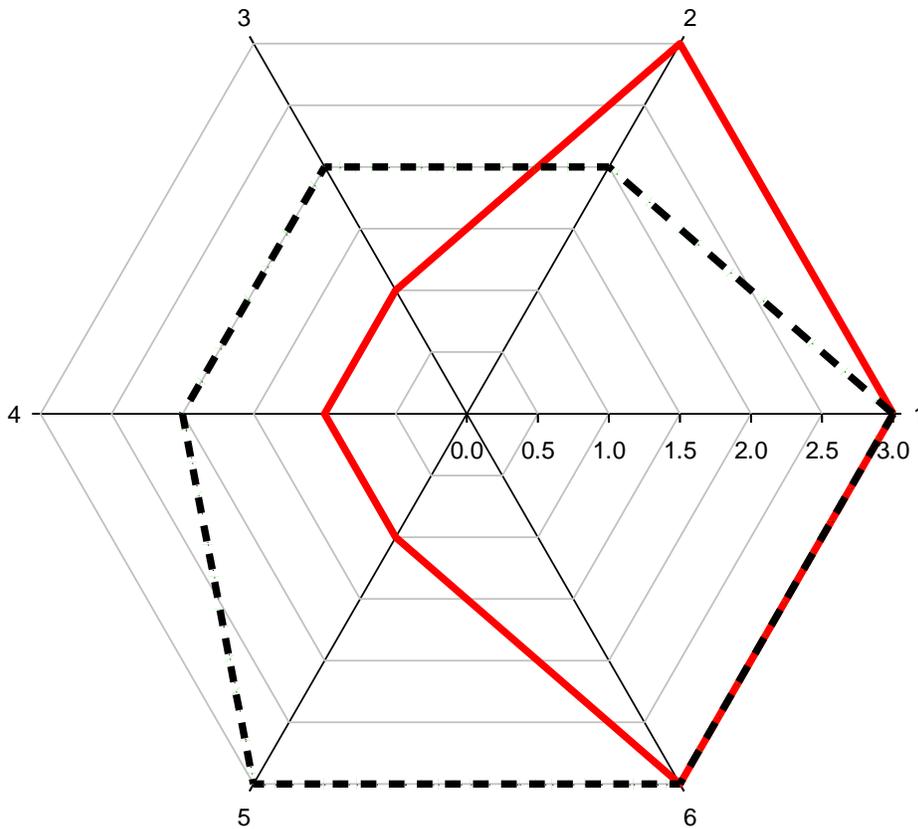
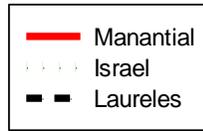


Figura 6. Estado de la conservación de suelos en las fincas cafetaleras El Manantial, San Israel y Los Laureles. El Tuma - La Dalia, 2015.

En la figura 6 se presentan los resultados obtenidos del estado de **conservación de suelos**; se puede observar que la erosión laminar está ausente en las 3 fincas (indicador 1). Dicho indicador presenta un nivel óptimo con referencia a la escala de puntuación, debido a que la cobertura a nivel de arvenses y hojarasca del bosque y cultivo protegen al suelo del fenómeno de erosión.

Según Gómez (2010) citado por Pico (2011), el 95% de la erosión en cafetales proviene de caminos, ríos y otros y el 5% proviene de parcelas, lo cual nos indica que la erosión en menor escala proviene de las parcelas

La **presencia de cárcavas** (indicador 2) no se observó en la finca El Manantial, a pesar de contener suelos con mayores pendientes. Sin embargo, en las fincas San Israel y Los Laureles si se observó cárcavas de riesgo incipiente, fenómeno que está relacionado al desarrollo de una vegetación más joven, lo que presenta menor cobertura comparada con la vegetación existente en la finca El Manantial.

La **infiltración de agua** en el suelo (indicador 3) fue clasificada de rápida en las fincas San Israel y Los Laureles, y ligeramente rápida en la finca El Manantial, fenómeno asociado a mayor presencia de arcilla en la superficie de los suelos de la finca El Manantial, dado que en el pasado se erosionó el horizonte orgánico superficial.

La mayor **pendiente** (indicador 4) se logró identificar en la finca El Manantial, contrario a las fincas San Israel y Los Laureles que alcanzan un nivel medio de puntuación ya que presentan menor pendiente.

Se lograron identificar **huellas de deslizamiento** (indicador 5) en la finca El Manantial, contrario a las otras dos fincas las cuales presentan un nivel óptimo, es decir no existe huella de deslizamiento.

La **sedimentación** (indicador 6) de los suelos en las tres fincas es nula, lo cual las hace alcanzar un nivel óptimo de conservación de los suelos, según este indicador.

De acuerdo a los resultados obtenidos y tomando en cuenta los 6 indicadores se logra apreciar que las finca San Israel y Los Laureles presentan mejor estado de conservación de suelo, en comparación con la finca El Manantial.

En la figura 7 se muestran los resultados obtenidos del estado de la **calidad de los suelos**. La **materia orgánica** (indicador 1) en la finca El Manantial es relativamente alta en comparación con las otras 2 fincas, en las cuales se alcanza un nivel medio de la escala de puntuación debido a que presentan menor porcentaje de materia orgánica.

1: Materia Orgánica  
2: Macrofauna  
3: Cobertura

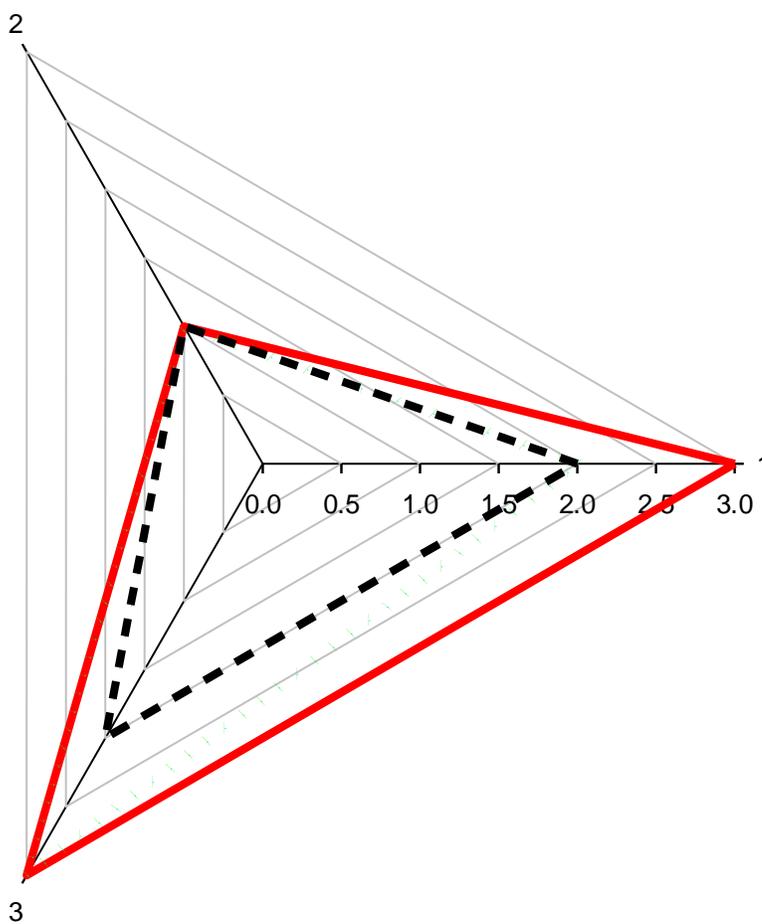
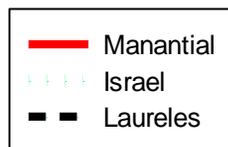


Figura 7. Estado de la calidad de los suelos en las fincas cafetaleras El Manantial, San Israel y Los Laureles. El Tuma - La Dalia, 2015.

Se logró identificar poca **macro fauna** (indicador 2) en las 3 fincas, es decir bajos niveles de macrofauna presente en la parcela, dicho fenómeno que puede estar asociado a la presencia de aves de patio, debido a que éstas se alimentan de la macro fauna existente en el suelo.

En lo que respecta a la **cobertura** (indicador 3) se logró identificar que las fincas El Manantial y San Israel presentan mayor porcentaje de cobertura, en comparación con la finca Los Laureles que alcanza un nivel medio, debido a que existe poca cobertura de arvenses.

De acuerdo a los resultados obtenidos y tomando en cuenta los 3 indicadores se logra apreciar que las fincas San Israel y El Manantial presentan el mejor nivel en cuanto a la calidad de suelo, en comparación con la finca Los Laureles.

#### **4.2.3. Servicio ambiental conservación de la biodiversidad**

Este concepto involucra la calidad del hábitat, las condiciones y los recursos (agua, luz y alimentos) que proveen un lugar y satisfacen los requerimientos de los organismos. La diversidad de la flora y fauna posibilita un mejor hábitat en los sistemas donde se encuentra una mayor diversidad de especie, los cuales ofrecen oportunidades de alimentación y refugio mucho mayores para la fauna y flora (Villanueva et al, 2011).

Según Altieri (1999, citado por Pico 2011), las funciones de la biodiversidad forman la base para el funcionamiento de los ecosistemas, por lo tanto, una de las razones para mantener, restituir y aumentar la biodiversidad en los agroecosistemas es que ésta presta una serie de servicios ambientales como reciclaje de nutrientes, control de microclimas locales, regulación de procesos hidrológicos, regulación de organismos indeseables y eliminación de sustancias químicas nocivas. La mayoría de estos procesos de renovación son biológicos y por tanto van a depender de su permanencia.

Si la biodiversidad disminuye, tendría graves consecuencias para la humanidad, reduciéndose la capacidad de los ecosistemas de suministrar los bienes y servicios que generan como lo son beneficios económicos, agrícolas, culturales, espirituales y de salud pública (OAS, 2004, citado por pico, 2011).

Según Altieri (1999) citado por Pico (2011), La producción en sistemas de monocultivos contribuye a la pérdida de biodiversidad, por lo que una estrategia clave para conservarla es establecer sistemas sustentables diversos a nivel de los paisajes.

Para el servicio conservación de la biodiversidad se utilizaron 2 criterios (calidad del hábitat y uso de agroquímicos). Para el criterio de calidad del hábitat se tomaron en cuenta 5 indicadores (número de estratos arbóreos, número de especies de árboles nativos por hectárea, número de árboles y arbustos mayor a 5 cm de DAP en una hectárea, valoración cualitativa de incidencia de epifitas en los arboles). Para el criterio uso de agroquímicos se tomaron en cuenta 3 indicadores (aplicación de herbicidas, aplicación de plaguicidas y aplicación de fertilizantes). Se definió una puntuación de 1 a 3.

#### *a. calidad de hábitat*

Para el **estrato arbóreo** (indicador 1) se logró identificar que la finca que presenta el nivel óptimo de acuerdo a la escala de calificación es la finca El Manantial, la finca Los Laureles alcanza un nivel medio, y finalmente la finca San Israel tiene un nivel bajo, tomando en consideración el número de individuos por especie presente en cada una de las fincas.

Según Kass *et ál.* (1998, citado por Pico 2011), los árboles dentro de los sistemas tienen gran valor por los beneficios que proporcionan a los agricultores, como el mejorar la calidad del café y proporcionar madera para leña. Además, ayuda al ciclaje de nutrientes a través de la biomasa aportada de podas y hojarascas, y a través de la fijación biológica la incorporación de nutrientes. Se logró encontrar tres **tipos de estratos** (indicador 2) (herbáceo, arbustivo y arbóreo) en cada una de las tres fincas, lo cual las hace alcanzar un nivel óptimo de acuerdo a la escala de puntuación. El mayor **número de especies** (indicador 3) de acuerdo a la gráfica se logró identificar en las fincas San Israel y Los Laureles; mientras que en la finca El Manantial alcanzó un nivel medio en la escala de puntuación. Para esto se tomó en cuenta el número de especies por fincas.

- 1: árboles
- 2: Estratos
- 3: Especies
- 4: Epifitas
- 5: Sombra

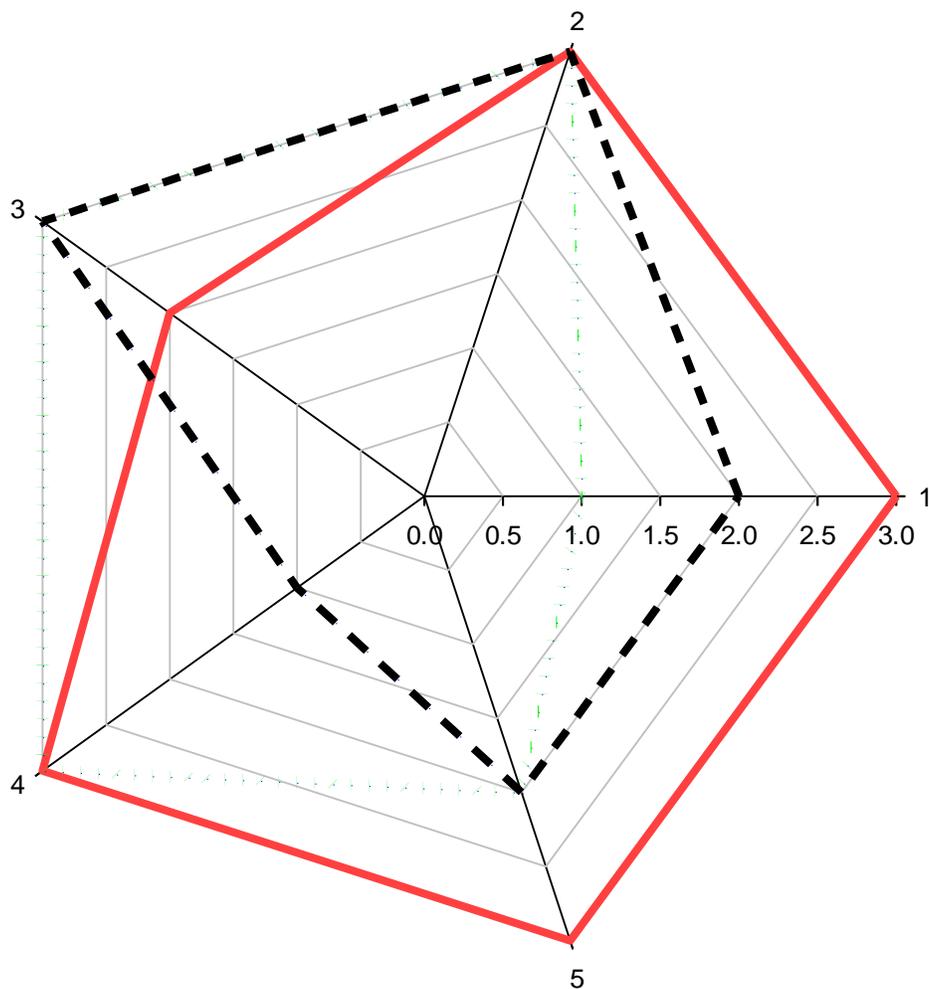
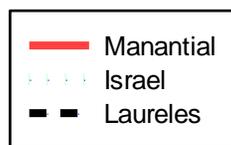


Figura 8. Estado de la calidad del hábitat en las fincas cafetaleras El Manantial, San Israel y Los Laureles. El Tuma, La Dalia, 2015.

Como se puede observar en la figura 8 la presencia de **epifitas** (indicador 4) en los árboles se encuentra mayormente en la finca Los Laureles, en comparación con la finca San Israel y El Manantial.

La presencia de epifitas en los árboles juegan un papel fundamental en la dinámica de las comunidades ya que al estratificarse verticalmente desde los troncos de los árboles hasta las copas del dosel ofrecen una gran variedad de nichos y recursos que son apropiados por diversos grupos de animales como las hormigas, artrópodos, anfibios y aves.

El mayor porcentaje de **cobertura de sombra** (indicador 5) lo alcanza la finca El Manantial, en comparación con la finca San Israel y Los Laureles que alcanzan un nivel medio, debido a que en ambas fincas la vegetación es un poco más joven.

Según Ruíz (2003, citado por Umanzor 2015), la función del árbol de sombra en el cultivo del café es principalmente de protección, la sombra es un requisito en la mayor parte de las regiones donde se cultiva café para brindarle las condiciones de cultivo semejantes a las de su área de distribución natural.

Los árboles de sombra en los cafetales permiten regular la disponibilidad del agua y atenuar los efectos negativos que los períodos prolongados de sequía causan sobre la producción. Además, contribuyen a mantener la fertilidad del suelo, reciclan nutrientes, aportan gran cantidad de materia orgánica (2) y reducen la erosión. Favorecen también el incremento de las poblaciones de plantas epífitas y la diversidad de las especies de aves (12), permitiendo que los caficultores participen en el mercado de cafés de conservación, de sombra o los orgánicos especiales (Farfán y Maestre, 2004).

Tomando en cuenta los 5 indicadores utilizados para la evaluación de calidad de hábitat se logró identificar que la finca que presenta mejor calidad de hábitat es El Manantial, seguidamente la finca San Israel con un nivel medio, y finalmente la finca Los Laureles con un nivel bajo en la escala de puntuación.

### ***b. Uso de agroquímicos***

En el presente estudio se obtuvo que en dos de las tres fincas no se aplica ningún producto agroquímico en el control de plagas y enfermedades. Sin embargo, en la finca San Israel se hace uso de herbicidas, plaguicidas y fertilizantes inorgánicos durante el manejo de los sistemas productivos, aunque existe una combinación de manejo convencional y prácticas orgánicas.

Cuadro 2. Uso de agroquímicos en las fincas El Manantial (1), San Israel (2) y Los Laureles (3), El Tuma, La Dalia, 2015.

<b>Finca</b>	<b>Uso</b>	<b>Producto</b>	<b>Toxicidad</b>	<b>No. Aplic./año</b>	<b>Tox*aplicaciones*-1</b>
1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
2	Herbicida	Glifosato		5	
		Gramoxone		5	
	Plaguicidas	Cipermetrina		10	
	Fertilizantes	18-46-0		3	
		15-15-15		3	
		20/05/2020		3	
		Alto 10		10	
		Foliar mic		10	
3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

#### **4.2.4. Servicio ambiental fijación de carbono**

La cuantificación de carbono en proyectos donde se consideran sistemas de uso de la tierra ha sido abordada en algunos casos tomando valores de la literatura y haciendo suposiciones que permiten calcular potenciales de fijación de carbono de los que se desprenden valores que deben ser verificados en campo; mientras que en otros se ha optado por realizar mediciones físicas para obtener dichos valores (Delgadillo y Quechulpa, 2006).

Las emisiones de carbono son el resultado de actividades relacionadas con la producción agrícola, la deforestación por medio de la técnica de tumba y quema, y el uso de combustible fósiles como carbón y gasolina, entre otros, lo que aumenta el calentamiento global. Las actividades agrícolas pueden contrarrestar el efecto invernadero porque, en vez de liberar carbono para la atmosfera, pueden almacenarlo para la producción del uso del suelo. La hojarasca estable en la tierra y los tejidos permanentes en los arboles constituyen reservas de carbono que de otra forma serian atmosféricos (Villanueva *et al*, 2011).

El hombre, a través del manejo silvicultural de los bosques nativos existentes, y por la creación de nuevos bosques mediante forestaciones y reforestaciones en áreas donde no existía árboles, es capaz de alterar las reservas y flujos de C forestal, modificando su papel en el ciclo del carbono y utilizando con ello su potencial para mitigar los cambios del clima (Pérez y Ruiz, 2003).

Centroamérica posee un gran potencial en el almacenamiento y fijación de carbono gracias a la presencia de grandes extensiones de ecosistemas forestales, por lo que se vería favorecida en los beneficios que conllevaría la venta del carbono (Pérez y Ruiz, 2003).

El dióxido de carbono se fija a través de la fotosíntesis y se almacena en las estructuras leñosas de las plantas. En la evaluación de este servicio ambiental se mide la cantidad de carbono fijado por árboles, arbustos y cultivos en cada uso de la tierra (Medina y Muñoz, 2008).

La figura 9 se muestran los datos **de fijación de carbono** por especies en las fincas estudiadas; en ella se observa que las especies que alcanzan mayor cantidad de carbono dentro del sistema son los arboles de sombra y en menor cantidad los cafetos.

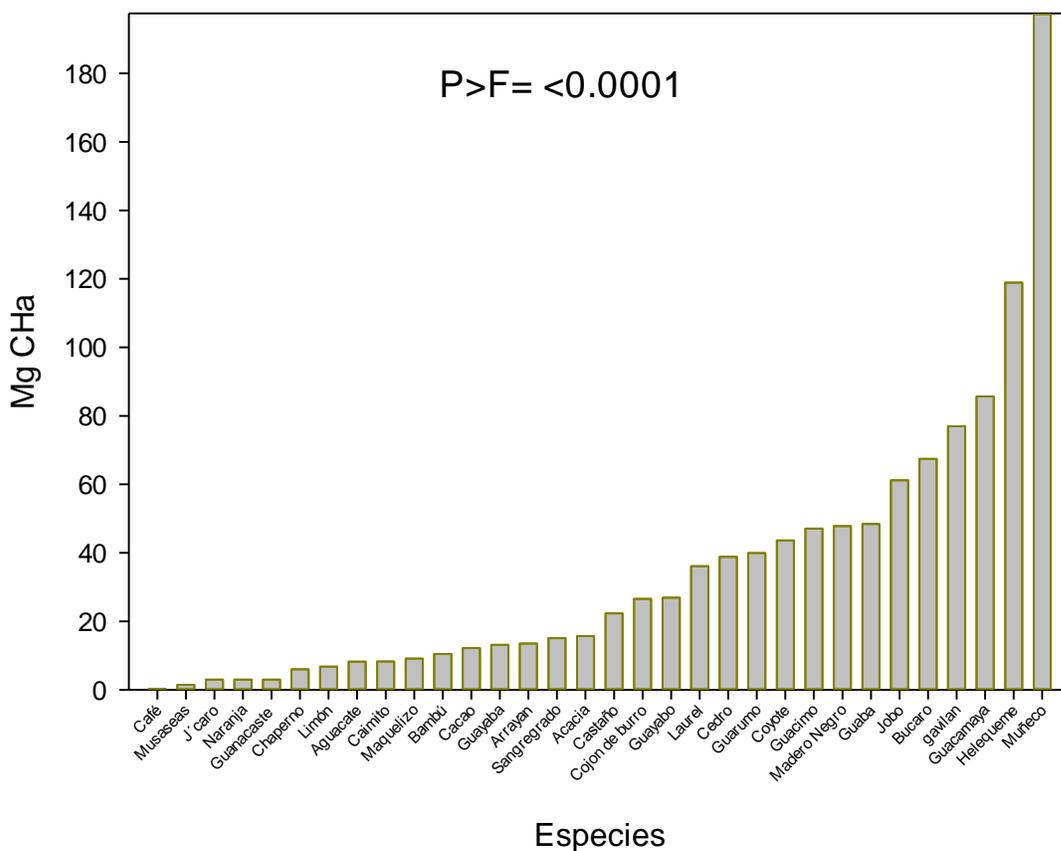


Figura 9. Cantidad de carbono fijado por especie en las Fincas El Manantial, San Israel y Los Laureles. El Tuma - La Dalia, 2015.

De acuerdo con Vega *et, al* (2014, citado por Umanzor 2015), diferentes autores afirman que variaciones en la acumulación de carbono en biomasa de plantas para sistemas agroforestales dependen de la variación de clima, tipo de suelo, sistema de manejo de los árboles, diseño (densidad de árboles) y especies de árboles utilizados, lo cual también es corroborado por Suárez (2002) en su estudio de cuantificación de carbono y valoración económica del servicio ambiental en sistemas agroforestales de café en la comarca de Yassica sur en Matagalpa.

Según Umanzor (2015), los valores por hectárea para biomasa y el carbono almacenados por los árboles de sombra en este estudio fueron de 115.7 t BM ha<sup>-1</sup> lo que corresponde a 57.8 t C ha<sup>-1</sup>, valores que concuerdan con el rango reportado por Vega *et, al* (2014), 84.37 y 58.11 t C ha<sup>-1</sup> en un estudio sobre el almacenamiento de carbono en arreglos agroforestales asociados con café (*Coffe arábica*), en altas densidades de sombra, en Colombia.

Por su parte Ortiz *et. al* (2008, citado por Umanzor 2015) encontró valores entre 43 y 62 t C ha<sup>-1</sup> almacenado en un sistema de 25 años de Cacao (*T. cacao*) y Laurel (*C. alliodora*), en Changuinola, Panamá, donde esta última especie almaceno entre el 80 y 85% del carbono del sistema, lo que es válido mencionar siendo que esta misma especie (laurel), representa el 19% de la población total para sistema en estudio.

Según Suarez (2002), la razón por la que el estrato arbóreo en un SAF de café almacena menos cantidades de carbono, comparado a una plantación forestal, posiblemente se deba a que la densidad de siembra de árboles es menos en los SAF, debido a la limitación del espacio ya que la mayor parte es ocupada por el cultivo del café. En un SAF de café los arboles de sombra ocupan un segundo lugar de importancia dentro del sistema, debido a los beneficios que estos proveen al desarrollo del cultivo y mantenimiento del sistema. Mientras que en una plantación estos son distribuidos con mayores densidades de siembra dentro del área, lo cual almacena más carbono que en un SAF.

Los árboles de sombra representan la segunda fuente de almacenamiento importante en los sistemas agroforestales de café. Esta fuente aporta entre 5.6 % y 13.8 % al carbono total del sistema. Los árboles de los sistemas con rangos de altura >10 m, aportaron mayores cantidades de carbono al sistema que los de rangos de altura menores. En los sistemas con rangos de altura <5 m, esta fuente contribuyo apenas con el 1.4 % al carbono total y su aporte es menor que el de la hojarasca Suarez (2002).

De acuerdo a los resultados arrojados por el estudio de Suarez (2002) el rango de valores encontrados de biomasa en el cultivo del café fue de 0.4 a 5.6 t ha<sup>-1</sup>, mientras que en carbono fue de 0.2 a 2.8 t ha<sup>-1</sup>.

En lo que respecta a **carbono fijado** en las fincas estudiadas, en la figura 10 se puede apreciar que la finca El Manantial posee una alta proporción de carbono fijado, en comparación con las Fincas San Israel y Los Laureles. Cabe destacar que esto obedece a que el sistema presente en la Finca El Manantial es de mayor edad, y por tanto está más desarrollado.

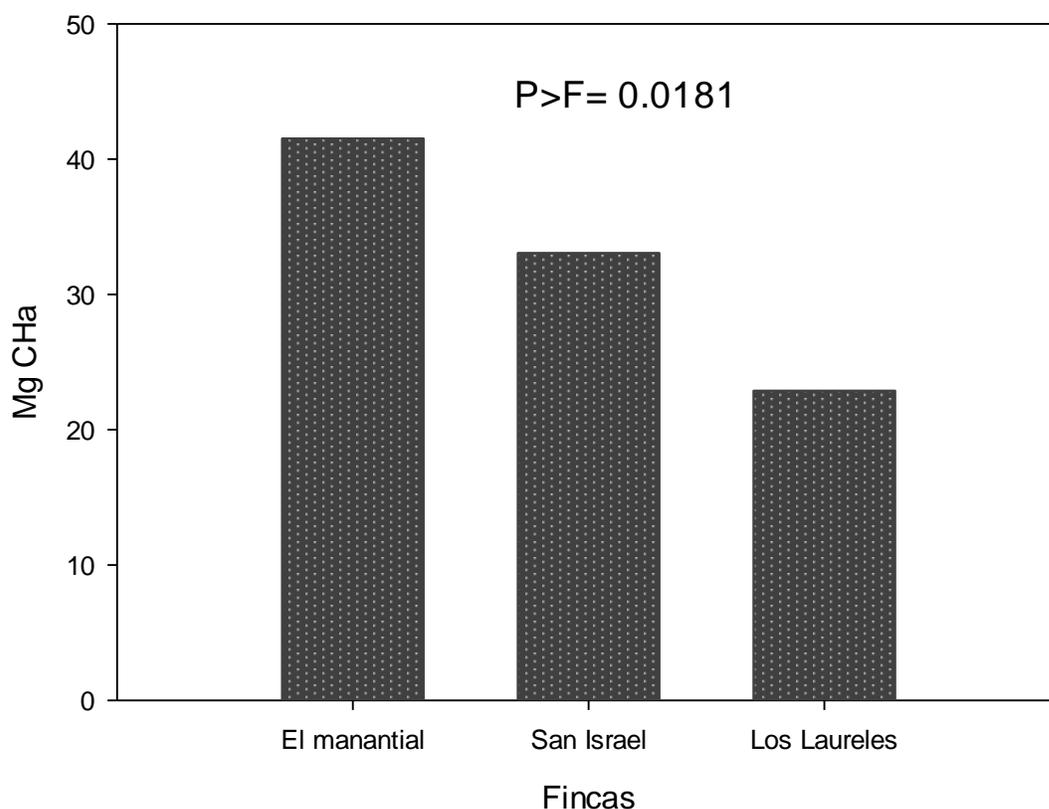


Figura 10. Cantidad de carbono fijado a nivel de fincas; El Manantial, San Israel y Los Laureles. El Tuma - La Dalia, 2015.

Tal como señala Brakas *et. al.* (2011) y Dzib, (2003), citados por Vega *et al.* (2014), es necesario considerar que las tasas de almacenamiento de carbono dependen de la edad y densidad de plantas, fertilidad, tipo de suelo y características del sitio (factores climáticos) y el manejo silvicultural al que se vea sometido el SAF.

Es importante señalar que el carbono fijado por finca está en dependencia del nivel de restauración y medidas adoptadas para la restauración del ecosistema.

## V. CONCLUSIONES

Las fincas estudiadas son pequeñas, pero altamente productivas, debido a que su producción es diversificada. Ambientalmente, son fincas con suelos desarrollados, altos contenido de materia orgánica y arcilla superficial, en las cuales se ha ido transformando el uso de los suelos, a la vez que se han implementado buenas prácticas agrícolas, fomentando una producción diversificada y orgánica. Socialmente son fincas con familias que van de dos a ocho personas, que cuentan con apoyo técnico y financiero de organismos como ADDAC, lo cual viene a contribuir con el bienestar de las familias.

La eficiencia de los servicios ambientales evaluados (captura de carbono, biodiversidad y calidad de suelo) en cada finca se debe más del compromiso ambiental de la familia y sus necesidades, que del tiempo de introducir los sistemas agroforestales a las mismas.

Los indicadores cobertura vegetal, número de árboles, contenido de materia orgánica en los suelos, carbono fijado y la menor contaminación por derrame de aguas mieles y agroquímicos en fuentes de aguas superficiales, muestran mejor desempeño de los servicios ambientales proporcionados en las fincas que tienen un nivel intermedio y avanzado de desarrollo.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Realizar estudios técnicos y medioambientales con el fin de mejorar la productividad y rendimiento de los sistemas productivos.

Las fincas deben de tener un sistema de tratamientos para aguas residuales y ejecutar un programa de manejo integrado de plagas, fundamentado en principios ecológicos de control de poblaciones de plagas dañinas (insectos, plantas, animales y microbios).

Capacitar a los productores sobre el uso de los subproductos que se obtienen del procesamiento del café (pulpa, pergamino y cascarilla), como fertilizante, compost, mulch o fuente de energía.

Realizar un estudio que identifique el costo económico de la restauración de tierras degradadas en el tiempo.

## VII. LITERATURA CITADA

- Blandino, C; Malespín, J. 2003.** Caracterización socioeconómica de la microcuenca cusmas, El Tuma- La Dalia, Matagalpa, Nicaragua. Managua, NI. UNA (Universidad Nacional Agraria). 77 p.
- Delgadillo, R.; Quechulpa, M. 2006.** Manual de Monitoreo de carbono en Sistemas agroforestales. 35 p.
- Farfan, V; Maestre, M. 2004.** Manejo del sombrío y fertilización del café en la zona central colombiana. Cenicafe. no. 330: 1.
- www,inifom. gov.ni. Secretaria Técnica de la Comisión Sectorial para la Descentralización (STCSD). Caracterización del municipio El Turna- La Dalia.
- Mairena, F. 2010.** Programa productivo alimentario (ppa) estudio en el municipio del Tuma- La Dalia/ Nicaragua. MSc. Matagalpa, NI. Colegio de postgraduados- Institución de enseñanzas e investigación en ciencias agrícolas. 107 p.
- Medina, B; Muñoz, C. 2008.** Propuesta metodológica para la evaluación de servicios ambientales. Adaptado de: Metodología para la evaluación de servicios ambientales julio de 2006. ANACAFE. CATIE, Octubre 2008.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA) 2005.** Ecosystems and human well-being: Biodiversity Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC. 86 p.
- Pérez, M; Ruiz, J. 2003.** Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de café (cofeea arábica L.) con sombra en la hacienda Santa Maura, Jinotega, Nicaragua. Managua, NI. Universidad Nacional Agraria (UNA). 49 p.
- Pico, J. 2011.** Evaluación de servicios ambientales en sistemas agroforestales con café en fincas bajo diferentes tipos de certificaciones en Turrialba, Costa Rica Tesis, MSc. CATIE (Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza). Turrialba, CR. 109 p
- Retamal, R; Madrigal, R; Alpizar, F; Jiménez, F. 2008.** Metodología para valorar la oferta de servicios ecosistémicos asociados al agua de consumo humano, Copán, Ruinas, Honduras. Turrialba, CR, CATIE (Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza) (Serie Técnica. Informe Técnico nº 362).
- Suarez, D. 2002.** Cuantificación y valoración económica del servicio ambiental almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café en la comarca Yassica Sur, Matagalpa, Nicaragua. Tesis. MSc. Turrialba, CR, CATIE. 117 p.

- Umanzor, D. 2015.** Cuantificación de carbono almacenado en árboles de sombra en tres lotes, en un sistema de café en el centro experimental ICIDRI-Masatepe. Ing. Forestal. Managua, NI. Universidad Nacional Agraria. 49 p.
- Vega, G.; Ordoñez, C.; Suarez, J.; López, C. 2014.** Almacenamiento de carbono en arreglos agroforestales asociados con café (*Coffea arabica*) en el sur de Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental. Vol. 5 N0. 1. 213-219. p.
- Villanueva, C; Sepúlveda, C; Muhammad, I. 2011.** Manejo agroecológico como ruta para lograr la sostenibilidad de fincas con café y ganaderías. CATIE (Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza) Turrialba, CR. 243 p.

# **ANEXOS**

## Anexo 1. Entrevista semi estructurada

1. ¿Quién tomo las decisiones para adquirir la tierra?
2. ¿Qué significa para usted y su familia tener tierra propia?
3. ¿Cuál es el cambio más significativo que ha ocurrido desde que adquirió la tierra?
4. ¿Qué ha hecho para cumplir los compromisos adquiridos para acceder a la tierra?
5. ¿Qué tipo de ayuda ha recibido y de quién?
6. ¿Si volviera a adquirir como lo haría? ¿Por qué lo haría de esta manera? ¿Qué tipo de ayuda necesitaría de otros y quien tendría que tomar la decisión?
7. ¿Son las mujeres, lo hombres o los dos quienes usan el recurso?
8. ¿Es la mujer o el hombre quien necesita los recursos?
9. ¿Sobre cuáles recursos tiene control la mujer?
10. ¿Son las mujeres, los hombres o los dos quienes toman decisiones sobre los recursos?
11. ¿Qué sucedería con el acceso y control de los recursos si alguien de la unidad familiar se enferma?
12. ¿Qué pasaría al acceso a los recursos si alguien muere?
13. ¿El hogar tiene reserva de alimento? ¿tiene los insumos necesarios para el funcionamiento de la unidad productiva?
14. ¿Qué oportunidades existen para la diversificación, tanto en la propia agricultura como en las estrategias de los medios de vida no relacionados con la agricultura?
15. ¿De qué recursos se dispone? ¿Quién tiene el acceso a ellos? ¿Cómo se gestionan?
16. ¿Qué factores sociales, políticos o económicos hacen que tenga más capacidad para mejorar la unidad productiva?
17. ¿Qué recursos hay en abundancia y cuáles escasean?
18. ¿Quién recoge el agua para el hogar?
19. ¿Dónde consiguen la leña? ¿Quién la recoge?
20. ¿Quién se ocupa de las actividades agrícolas?
21. ¿Cuáles son las principales actividades de subsistencia no agrícolas de hombres y mujeres?
22. ¿Quién se encarga de las actividades no agrícolas o emplea tiempo en las mismas?
23. ¿Cuáles son las demás actividades principales para la generación de ingresos y quien se encarga de ellas?
24. ¿Qué actividades y recursos contribuyen en mayor medida a cubrir las necesidades básicas del hogar?

Anexo 2. Formato de evaluación servicio de conservación de agua

**Indicador uno:** Manejo de contaminación del agua (marcar con una X) (0-2)

<b>Manejo de aguas mieles</b>					
Al río ()	Pozo de infiltración ( )	Laguna de aeración ( )	Otro (especificar) ( )	Calificación	
<b>Manejo de contaminación de combustibles, aceites</b>					
Se tira en el río ()	Se deposita lejos de fuentes de agua ( )	Colectada y llevado fuera de la finca ( )	Otro (especificar) ( )	No corresponde ( )	
<b>Donde lavan los equipos usados para aplicación de agroquímicos</b>					
Se lava en el río ()	Se deposita lejos de fuentes de agua ( )	Colectada y llevado fuera de la finca ( )	Otro (especificar) ( )	No corresponde ( )	
<b>Desechos de la finca (basura orgánica, pulpa de café, desechos de otros cultivos)</b>					
Al río ()	Amontonado ( )	Compostado ( )	Otro (especificar) ( )	No corresponde ( )	
<b>Aguas negras de los habitantes</b>					
Al río o aire abierto ( )	Letrina con pozo de infiltración ( )	Sanitarios con tanque de tratamiento ( )	Sanitario de composteo( )		
<b>Aguas grises de los habitantes (de lavado)</b>					
Al río ( )	Pozo de infiltración ( )				
<b>Suma</b>					
<b>Indicador dos:</b> Evidencia de erosión o deslizamientos en los nacimientos, ríos, caminos y sedimentación en las partes bajas de los caminos.					
			<b>Presencia</b>		
			No (1)=	Si (0) =	
En los nacimientos y los ríos	Deslizamientos en las orillas				
	Evidencia de erosión				
En los caminos	Cárcavas o canalillos en la orilla de los caminos				
	Áreas de acumulación de sedimentos en las partes bajas				
<b>Suma</b>					
<b>Indicador tres:</b> Obras de prevención o recuperación (Si = 1 y No = 0) Describir las obras realizadas					
	En los nacimientos y ríos		En los caminos		
	Siembra vegetación de protección	Obras de retención	Cunetas en los caminos vehiculares	Obras de retención en los senderos peatonales	Desagües que llevan el agua a zonas de infiltración
<b>Suma</b>					

Anexo 3. Formato de evaluación servicio conservación de suelo

<b>Criterio conservación de suelo</b>		
Evidencias	Cualitativa	Cuantitativa
Erosión laminar como arrastre horizontal del material	Si o No	
Cárcavas a canalillos dentro de los plantío	Si o No	
Infiltración del agua en el suelo		%
Pendiente		%
Deslizamiento	Si o No	
Sedimentación	Si o No	
<b>Criterio calidad de suelo</b>		
Macrofauna		%
Materia orgánica		%
Cobertura de suelo		%

Anexo 4. Formato de evaluación servicio de conservación de la Biodiversidad

<b>Criterio calidad del hábitat</b>					
<b>Parcelas</b>	<b>Numero de estratos en la parcela</b>	<b>Especies</b>	<b>Número de individuos</b>	<b>No de árboles con presencia de epifitas y bejucos</b>	
1					
2					
3					
4					
<b>Indicador</b>	<b>Indicador 1 No. Estratos =</b>	<b>Indicador 2: No. Especies nativas =</b>	<b>Indicador 3: No. Árboles y arbustos/100 =</b>	<b>Indicador 4: Proporción de árboles con epifitas o bejucos =</b>	
<b>Criterio uso de agroquímicos</b>					
<b>Uso</b>	<b>Producto</b>	<b>Calificación Toxicidad</b>	<b>No. Aplicaciones</b>	<b>No. Aplicaciones * calificación de la toxicidad</b>	<b>Suma De las diferentes productos</b>
<b>Indicador 1: Herbicidas</b>					
<b>Indicador 2: Plaguicidas</b>					
<b>Indicador 3: Fertilizantes</b>					
<b>Valor del criterio uso de agroquímicos: (suma indicadores 1 a 3) / 10:</b>					

Anexo 5. Formato de evaluación servicio ambiental captura de carbono

P	Indicador 1: árboles			Indicador 2: cafetos, Musáceas u otros perennes							
	Especie	DAP	Epifitas o bejucos	Cafeto	D	H	Cafeto	D	H	Musácea	H
Parcela 1											
Parcela 2											
Parcela 3											
Parcela 4											

