Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN
PROGRAMA DE POSGRADO

Almacenamiento de carbono y beneficios familiares obtenidos de cafetales en fincas de pequeños productores de Nicaragua

Por

Miryan Angélica Pinoargote Chang

Tesis sometida a consideración de la División de Educación y el Programa de Posgrado como requisito para optar al grado de

MAGISTER SCIENTIAE

en Sistemas Agrícolas Sostenibles

Turrialba, Costa Rica

2014

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y el Programa de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

***MAGISTER SCIENTIAE* EN SISTEMAS AGRÍCOLAS SOSTENIBLES**

FIRMANTES:

Eduardo Somarriba, Ph.D.
Codirector de tesis

Rolando Cerda, M.Sc.
Codirector de tesis

Leida Mercado, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

Amilcar Aguilar, M.Sc.
Miembro Comité Consejero

Francisco Jiménez, Dr. Sc.
Decano Programa de Posgrado

Miryan Angélica Pinoargote Chang
Candidata

DEDICATORIA

*A **DIOS** que es mi fuente de inspiración, gracia y amor… todo lo que necesito para ser feliz.*

*A la **princesa Isabella** por toda su fortaleza, paciencia y amor infinito.*

*A mis **adorados padres Miryam y Milton** por ser mis modelos de perseverancia y lucha.*

*A **mis hermanos Milton y Paúl** para que sigan sus sueños… sí se puede!!!*

*Al **maestro Horacio Chang** quien viajó al paraíso un día antes de que yo iniciara esta aventura.*

AGRADECIMIENTOS

A Dios que me llenó de sabiduría para tomar las mejores decisiones y poder llegar con mucha satisfacción a la meta. Este triunfo es de Él.

A mi querida familia por su apoyo incondicional, confianza inagotable e impulso constante para seguir siempre adelante.

A CATIE, MAP y la Real Embajada de Noruega por la beca de estudios de maestría y financiamiento de la investigación.

A mis codirectores de tesis por compartir sus conocimientos con paciencia y sobre todo por su extraordinaria calidad humana.

A los miembros del comité de tesis por sus oportunas sugerencias y aportes a la investigación.

Al equipo de la unidad de bioestadística de CATIE por su gran colaboración.

A todos los profesores, personal administrativo de la Escuela de Posgrado de CATIE y el personal de la biblioteca Orton por todo el apoyo en estos dos años.

Al equipo técnico de MAP-Noruega del territorio Nicacentral por su asistencia en toda la fase de campo de la investigación y por ser excelentes anfitriones.

A las familias caficultoras nicaragüenses que compartieron su tiempo, experiencias y alimentos.

A los asistentes de campo por su entusiasmo para trabajar.

A mis familiares, amigas y amigos que con buena vibra me alentaron durante todo este proceso.

A los colegas de CATIE por el intercambio cultural y compañerismo.

CONTENIDO

DEDICATORIA 3
AGRADECIMIENTOS 4
CONTENIDO 5
ÍNDICE DE CUADROS 7
ÍNDICE DE FIGURAS 7
LISTA DE ABREVIATURAS Y UNIDADES 7
RESUMEN 8
ABSTRACT 9
1. INTRODUCCIÓN 10
1.1. Objetivos 10
1.1.1. Objetivo general 10
1.1.2. Objetivos específicos 11
1.2. Preguntas de investigación e hipótesis 11
2. REVISIÓN DE LITERATURA 11
2.1. Cafetales en Nicaragua 11
2.2. Servicios ecosistémicos de los cafetales 12
2.3. Mitigación y adaptación al cambio climático en cafetales 12
2.3.1. Almacenamiento de carbono 13
2.3.2. Productos agroforestales y beneficios familiares 14
2.4. Relaciones entre diferentes servicios ecosistémicos 14
3. RESULTADOS 15
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 16
LITERATURA CITADA 16
Artículo: Almacenamiento de carbono y beneficios familiares obtenidos de cafetales en fincas de pequeños productores de Nicaragua 21
RESUMEN 21
1. Introducción 21
2. Materiales y métodos 23
2.1. Definiciones y términos 23
2.2. Ubicación y descripción de los cafetales 23

2.3. Variables estudiadas 24
2.3.1. Diversidad y densidad de plantas 24
2.3.2. Carbono almacenado en biomasa aérea 25
2.3.3. Rendimiento de productos agroforestales e indicadores económicos 25
2.4. Análisis estadísticos de datos 26
2.4.1. Análisis de similitud 26
2.4.2. Análisis de varianza y comparación de medias 26
2.4.3. Análisis de compromisos 27
2.4.4. Comparaciones entre variables biofísicas y económicas 27
3. Resultados 27
3.1. Composición botánica de los cafetales 27
3.2. Densidad y área basal de plantas 28
3.3. Carbono almacenado en la biomasa aérea de las plantas 29
3.4. Rendimiento de productos agroforestales 30
3.5. Contribución de los productos agroforestales a los indicadores económicos 32
3.6. Compromisos entre carbono almacenado, rendimientos de café y beneficios familiares 33
3.7. Comparaciones biofísicas y económicas entre tipos de cafetales 33
4. Discusión 35
4.1. Diversidad botánica y densidades en cafetales 35
4.2. Carbono almacenado en la biomasa aérea de los cafetales 35
4.3. Rendimientos y beneficios familiares de productos agroforestales 36
4.4. Compromisos entre carbono y beneficios familiares 38
4.5. Diseño de cafetales frente al cambio climático 38
5. Conclusión 39
Agradecimientos 39
Referencias 40
Anexo 1. Especies de leñosas usadas en tres tipos de cafetales agroforestales en la zona centro norte de Nicaragua. 45

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características de los cafetales en los municipios de la zona centro norte de Nicaragua. 23

Cuadro 2. Ecuaciones alométricas para estimar la biomasa aérea de los cafetales en la zona centro norte de Nicaragua. 25

Cuadro 3. Riqueza de especies e índices de diversidad de plantas del dosel de sombra en diferentes tipos de cafetales en la zona centro norte de Nicaragua. 28

Cuadro 4. Densidad (individuos ha^{-1}) y área basal (m^2 ha^{-1}) de las plantas del dosel de sombra en diferentes tipos de cafetales en la zona centro norte de Nicaragua. 29

Cuadro 5. Carbono almacenado (Mg ha^{-1}) en la biomasa aérea de las plantas del dosel de sombra en diferentes tipos de cafetales en la zona centro norte de Nicaragua. 30

Cuadro 6. Rendimientos de productos agroforestales en cuatro tipos de cafetales en la zona centro norte de Nicaragua. 31

Cuadro 7. Indicadores económicos en cuatro tipos de cafetales en la zona centro norte de Nicaragua. 31

Cuadro 8. Diferencias entre pares de cafetales en estructura del dosel de sombra, rendimientos, indicadores económicos y carbono en biomasa aérea. 34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de los cafetales estudiados en la zona centro norte de Nicaragua. 24

Figura 2. Curvas de acumulación de especies de leñosas del dosel de sombra en diferentes tipos de cafetales en la zona centro norte de Nicaragua. 28

Figura 3. Distribución de frecuencia de diámetros de los árboles en relación con el carbono (C) almacenado y el número de individuos (n) en 23 cafetales de diferentes tipos en la zona centro norte de Nicaragua. 30

Figura 4. Contribución del café y otros productos agroforestales (PAF) al *A* flujo neto (FN), *B* ingreso neto (IN) y *C* beneficios familiares (BF) en cuatro tipos de cafetales en la zona centro norte de Nicaragua. 32

Figura 5. Relación sinérgica entre carbono almacenado (Mg ha^{-1}) y beneficios familiares (US$) en cuatro tipos de cafetales en la zona centro norte de Nicaragua. 33

LISTA DE ABREVIATURAS Y UNIDADES

C:	Carbono
dap:	Diámetro del tallo a la altura del pecho
ha:	Hectárea
kg:	Kilogramos
Log:	Logaritmo base 10
Mg:	Mega-gramos = un millón de gramos = 1 tonelada métrica
SE:	Servicios ecosistémicos
qq:	Quintal = 100 libras = 45.4 kg
SAF:	Sistemas agroforestales
PAF:	Productos agroforestales

RESUMEN

El café (*Coffea arabica* L.) es uno de los productos agrícolas de mayor interés en Centroamérica por su importancia a nivel social, económico y ambiental. En Nicaragua los cafetales se manejan *bajo sombra* en asocio con otras plantas que proveen bienes y servicios para beneficio de las familias. Por eso es fundamental evaluar e identificar sistemas agroforestales con café que provean varios servicios ecosistémicos simultáneamente con poca competencia entre ellos para hacer frente al cambio climático y obtener beneficios económicos. Con el fin de demostrar dichos beneficios, se evaluaron 27 cafetales agrupados en cuatros tipos con diferente composición botánica del dosel de sombra, se estimó el carbono almacenado en la biomasa aérea, se cuantificaron los rendimientos de los productos agroforestales (café, frutas, musáceas, madera en pie y leña) y se calculó el valor de los productos por venta y autoconsumo doméstico a través de tres indicadores económicos: flujo neto, ingreso neto y beneficios familiares. El carbono almacenado en la biomasa aérea fue mayor en sistemas más complejos; los árboles almacenaron más carbono que las plantas de café y las musáceas. Los productos agroforestales aportan positivamente a los indicadores económicos y el café genera la mayor ganancia que los otros productos agroforestales. Existen sinergias que proporcionan al mismo tiempo carbono y provisión de bienes para los productores, especialmente en sistemas más complejos. Los cafetales diversificados y con manejo agroecológico son una forma de producción amigable con el ambiente y el clima que permiten aumentar la resiliencia ante el cambio climático y mejorar los medios de vida de los productores.

PALABRAS CLAVE: Café, agroforestería, carbono, consumo doméstico, compromisos, cambio climático.

ABSTRACT

Coffee (*Coffea arabica* L.) is one of the most important agricultural products in Central America with social, economic and environmental value. In Nicaragua, coffee farms are managed in association with other plants providing goods and services for the benefits of families. Therefore it is essential to assess and identify coffee agroforestry systems that provide multiple ecosystem services simultaneously with little competition among them to cope with climate change and gain economical profits. To demonstrate these benefits, 27 coffee farms grouped into four types with different botanical composition were assessed; carbon stored in aboveground biomass was estimated, yields of agroforestry products (coffee, fruit, bananas, stand timber and firewood) were quantified and the value of products from sale and domestic consumption were calculated through three economic indicators: cash flow, net income, and family benefits. Carbon stock in aboveground biomass was greater in complex systems; trees stored more carbon than the coffee plants and bananas. Agroforestry products contribute positively to economic indicators and coffee generates higher profit than other agroforestry products. There are synergies offering both carbon and providing goods for producers, especially in complex systems. Coffee farm diversification combined with agroecological management is an environmental and climate friendly production, it can enhance resilience to change climate and improve farmers' livelihoods.

KEYWORDS: Coffee, agroforestry, carbon, domestic consumption, trade-offs, climate change.

1. INTRODUCCIÓN

El café arábigo (*Coffea arabica* L.) suple el 63% del mercado cafetalero global y mueve la economía de varios países en los trópicos (DaMatta 2004). La producción de café puede desarrollarse en monocultivo o en sistemas agroforestales (SAF). En América Latina se estima que el 90% de los 5.41 millones de hectáreas cultivadas con café se cultivan bajo sombra, es decir, en SAF (Somarriba *et al.* 2012). Varios estudios han destacado la contribución de los SAF con café a los medios de vida de las familias productoras y empresas, y a la provisión de varios servicios ecosistémicos (SE), tales como conservación de biodiversidad, suelos y agua y captura de carbono, entre otros (Somarriba *et al.* 2004; Jha *et al.* 2011; Rapidel *et al.* 2011). Los cafetales contribuyen en la regulación de dióxido de carbono atmosférico debido a que secuestran carbono (C) en varios componentes del sistema, y muchos estudios han evaluado este atributo (Segura *et al.* 2006; Soto-Pinto *et al.* 2010; Méndez *et al.* 2012; Richards y Méndez 2014). Asimismo, los cafetales proveen bienes (madera, frutas, bananos y leña) que generan ingresos en efectivo por venta, y ahorros por autoconsumo (Beer *et al.* 1998; López *et al.* 2003; Méndez y Bacon 2005). Sin embargo, es poca la información sobre la cantidad de productos agroforestales obtenidos de los cafetales (Somarriba 1990; Shibli 2001; Peeters *et al.* 2003; Rice 2008, 2011) y solo unos cuantos han reconocido su importancia económica y los incluyen como beneficios familiares (Rice 2008, 2011; Cerda *et al.* 2014).

Conocer las relaciones sinergísticas y competitivas entre los SE (producción de café y otros productos de los árboles y otras plantas del dosel de sombra del cafetal, almacenamiento de carbono, provisión de alimentos, conservación de biodiversidad, de agua, etc.) es crucial para entender y mejorar estos sistemas. Existen modelos cualitativos que muestran compromisos entre la cantidad de C almacenada y la rentabilidad de los cafetales (Olschewski *et al.* 2010; Raudsepp-Hearne *et al.* 2010; Elmqvist *et al.* 2011), en donde se muestra que se podrían conseguir al menos escenarios de alta rentabilidad y almacenamiento medio de C si se optimiza la selección, uso y manejo de las especies del dosel de sombra (Verchot *et al.* 2007; Van Oijen *et al.* 2010; Somarriba *et al.* 2013).

Esta investigación pretende analizar las relaciones entre dos servicios ecosistémicos clave: la producción agroforestal (aprovisionamiento expresado en términos de beneficios familiares) y el almacenamiento de carbono (regulación) en cafetales con diferentes tipos de sombra. Se espera responder a dos preguntas principales: i) ¿Cuál es la contribución relativa del café, frutas, madera, leña y otros productos agroforestales al beneficio familiar? ii) ¿Cuál es el tipo de cafetal en el que se pueden lograr simultáneamente altos beneficios familiares y alto almacenamiento de carbono?

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Identificar cafetales que generen altos beneficios familiares y al mismo tiempo almacenen alto contenido de carbono en biomasa aérea.

1.1.2. Objetivos específicos

1. Determinar la composición botánica, riqueza y abundancia de especies de plantas en el dosel de sombra de las tipologías de cafetales.
2. Estimar la cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea de los cafetales, según el tipo (uso) de plantas y tipología.
3. Evaluar el aporte de todos los productos del cafetal (café, fruta madera, leña, bananos, etc.) a los ingresos en efectivo y autoconsumo familiar.
4. Analizar los compromisos entre el almacenamiento de carbono en la biomasa aérea, los rendimientos de café y otros beneficios familiares en diferentes tipos de cafetales.

1.2. Preguntas de investigación e hipótesis

Diversidad de plantas

- ¿Cómo es la composición botánica y estructura de cada tipo de cafetal?
- Hipótesis: Existen diferencias en la composición botánica y estructura de los diferentes tipos de cafetales.

Carbono almacenado

- ¿Existen diferencias entre la cantidad de carbono (Mg C ha^{-1}) almacenado en la biomasa aérea de diferentes tipos de cafetales?
- Hipótesis: Las diferencias en el carbono almacenado en la biomasa aérea de los cafetales depende del tipo de cafetal.

Beneficios familiares

- ¿Cuáles son los principales productos agroforestales que se obtienen de los cafetales?
- ¿Cómo contribuyen los productos agroforestales a los ingresos y autoconsumo familiar en cada tipo de cafetal?
- Hipótesis: Los productos agroforestales tienen igual importancia que el café para los beneficios familiares y están dados en función del tipo de cafetal.

Compromisos

- Hipótesis: Las relaciones sinergísticas y/o competitivas que existen entre el carbono almacenado, los rendimientos de café y los beneficios familiares dependen del tipo de cafetal.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Cafetales en Nicaragua

La caficultura es la actividad agrícola más importante de Nicaragua, con 126,154 hectáreas cultivadas con café en todo el país (INIDE y MAGFOR 2012) y el 96% de estos cafetales son manejados bajo sombra (Solórzano y Cáceres 2012). El sector cafetalero tiene impacto a nivel i) económico, generando divisas por exportaciones; ii) social, dando empleos directos e indirectos; y iii) ambiental, brindando servicios ecosistémicos (Solórzano y Cáceres 2012). Del dosel de sombra de los cafetales se obtiene madera, leña, frutas y medicinas y otros bienes y servicios que mejoran los medios de vida de las familias (Méndez y Bacon 2005; Méndez *et al.* 2013).

Los diferentes tipos de cafetales dependen de los objetivos del productor y están constituidos por varios estratos que incluyen las hierbas de cobertura, plantas de café (variedades Caturra, Bourbón, Pacas, Maragogipe y Catimores), especies de plantas y árboles frutales, árboles de servicio y maderables (Bolaños 2001; Solórzano y Cáceres 2012). Los doseles de sombra más diversos son manejados con poca intensidad por pequeños y medianos productores; los sistemas más tecnificados están a pleno sol (Westphal 2008; Orozco y López 2013). La producción nacional promedio de café es baja (17 qq oro ha^{-1}); sin embargo, existen oportunidades para aumentar los rendimientos porque las condiciones agroecológicas de las zonas cafetaleras son ideales para el cultivo. Para esto es necesario que los productores tengan acceso a transferencia de tecnologías (uso de variedades mejoradas), asistencia técnica (manejo integrado del cafetal) y créditos de fomento agrícola (Solórzano y Cáceres 2012).

2.2. Servicios ecosistémicos de los cafetales

Los servicios ecosistémicos (SE) son los beneficios que las personas obtienen directa o indirectamente de las funciones de los ecosistemas, y están clasificados en cuatro categorías: *servicios de base,* son los servicios necesarios para la producción de los otros SE como la formación del suelo, ciclo de nutrientes, producción de materias primas; *servicios de aprovisionamiento,* son los productos que se obtienen de los ecosistemas, como los alimentos, agua fresca, madera, fibras, medicinas; *servicios de regulación,* son los que se obtienen de la regulación de los procesos de los ecosistemas, como la regulación del clima, enfermedades, agua; *servicios culturales,* son beneficios intangibles que se obtienen de los ecosistemas, como belleza escénica, espirituales, religiosos, recreación, ecoturismo y educacionales (MEA, 2003).

Los sistemas agroforestales (SAF) con café pueden suministrar diversos SE a escala local, regional y global (Beer *et al.* 2003; Montagnini y Nair 2004; Vaast *et al.* 2005; Jose 2009; Idol *et al.* 2011; Jha *et al.* 2011; Rapidel *et al.* 2011), como secuestro y almacenamiento de carbono, conservación de biodiversidad (Somarriba *et al.* 2004), almacenamiento de agua, producción de alimentos, productos maderables y no maderables, polinización, control de erosión y resiliencia al cambio climático (Lin *et al.* 2008). También pueden contribuir a reducir el ataque de la roya (*Hemileia vastatrix*) (Avelino y Rivas 2013). En los cafetales los proveedores de estos SE son las plantas que forman el dosel de sombra, los arbustos de café y los microorganismos, entre otros (Swift *et al.* 2004).

2.3. Mitigación y adaptación al cambio climático en cafetales

Los modelos climáticos futuros para Nicaragua revelan que la aptitud de zonas cafetaleras decrecerá a un 30-50% debido a la precipitación más estacional con menos meses secos (de 5 a 4 meses), reducción anual de la precipitación (93mm) y aumento de la temperatura 0.9°C en 2020 y 2.1°C en 2050 (Läderach *et al.* 2012). Las plantas de café son susceptibles a las variaciones climáticas especialmente al fotoperiodo, distribución de la precipitación y temperatura del aire, porque interfieren en la fenología del cultivo y esto afecta la cantidad y calidad de cerezas de café (Camargo 2010). El aumento de temperatura acelera el crecimiento vegetativo de los arbustos de café, disminuye la producción, reduce la calidad del café por maduración excesiva y aumenta el riesgo del ataque de patógenos. El estrés hídrico provoca el

cierre de estomas que disminuye la eficiencia fotosintética (Camargo 2010) y el aumento de meses lluviosos influye en la floración, lo que provoca más "floraciones locas" (fuera de la época normal). Todo esto afectaría el ciclo de maduración de frutos, aumentaría el tiempo de cosecha e incrementaría los costos de producción (Rahn *et al.* 2013). Los cambios en el clima también pueden afectar las poblaciones de insectos (Verchot *et al.* 2007) y la presencia de enfermedades como la roya, y alterar su distribución y virulencia (Avelino y Rivas 2013). Asimismo afectaría otros factores del sistema como la disponibilidad de agua (que cada vez es más limitada), cambios en el suelo en cuanto a materia orgánica, salinización y erosión (Verchot *et al.* 2007).

Bajo este escenario de clima futuro se propone el cultivo de café bajo sombra como el principal mecanismo de mitigación y adaptación al cambio climático para los agroecosistemas con café y las familias. Estos sistemas tienen gran potencial para almacenar carbono en varios sumideros (biomasa aérea y subterránea, suelo, hojarasca) debido a la extensa área que ocupa esta actividad a nivel global y la gran presión que tiene al cambio de uso de la tierra (Méndez *et al.* 2012); además que puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) al utilizar más leguminosas (también liberan N_2O, pero en menor cantidad) y menos fertilizantes (Van Rikxoort *et al.* 2014). Asimismo, los beneficios de los árboles para adaptación de las plantas de café son diversos: mejoran el microclima moderando los extremos de temperatura (Lin 2007; Souza *et al.* 2012) y mantienen la humedad en el suelo en los tiempos de sequía (Beer *et al.* 1998). Otras estrategias de adaptación son mantener cobertura viva en el suelo, cosechar el agua de lluvia para irrigación y promover los programas de mejoramiento genético (Camargo 2010). A las familias les permite tener otras fuentes de alimentos, fibras e ingresos económicos cuando caen los precios del café (Beer *et al.* 1998) se presentan epidemias como la roya o hay eventos climáticos extremos.

2.3.1. Almacenamiento de carbono

El secuestro de carbono es la remoción del carbono atmosférico y su almacenamiento en sumideros (océano, vegetación o suelo) por medio de procesos físicos o biológicos (Jose 2009). Los SAF tienen potencial como sumidero de carbono (C) atmosférico (Albrecht y Kandji 2003; Montagnini y Nair 2004; Oelbermann *et al.* 2004; Takimoto *et al.* 2008; Henry *et al.* 2009; Soto-Pinto *et al.* 2010; Schroth *et al.* 2011) y debido a la importancia del café en muchas regiones, el carbono almacenado en la biomasa aérea de cafetales está siendo evaluado como mecanismo de mitigación del cambio climático (Ávila *et al.* 2001; Hairiah *et al.* 2002; Van Noordwijk *et al.* 2002; Häger 2012; Richards y Méndez 2014).

En Jinotega, cafetales con especies arbóreas como *Ingas sp.* y *Junglan olanchanum* almacenaron entre 5.5 y 19.9 Mg C ha^{-1} (Medina-Benavides *et al.* 2010). En Matagalpa, Suárez (2002) estudió cinco tipos de cafetales con diferentes tipos de sombra que almacenaron entre 25.2 y 33.5 Mg C ha^{-1}. En general las mayores cantidades de carbono están relacionadas a sistemas con doseles de sombra más diversos y densos (Méndez *et al.* 2012). Sin embargo, no se puede generalizar la cantidad de C almacenado en diferentes cafetales como valores estandarizados, ya que la biomasa aérea y contenido de C está relacionado con el tipo de sistema,

manejo del cafetal (edad, densidad, especies de árboles, variedades de café) ubicación geográfica y factores ambientales (Jose 2009; Medina-Benavides *et al.* 2010).

2.3.2. Productos agroforestales y beneficios familiares

El diversificar la producción dentro del cafetal e introducir especies de plantas y árboles frutales y maderables, permite a las familias adaptarse a cambios en el clima y de mercado porque aumentan la producción de alimentos y fibras, lo que asegura su alimentación en ciertas épocas del año (Van Rikxoort *et al.* 2014). Así mismo, estos productos generan ingresos extras dependiendo del área del cafetal, los rendimientos y los precios de venta en el mercado (Verchot *et al.* 2007).

La producción de fruta en los cafetales y su uso depende de factores socioeconómicos y de infraestructura (Rice 2011). Por ejemplo, en cafetales de Perú y Guatemala los ingresos generados por las frutas constituían el 10% del valor de la producción de café en ambos casos, pero en Guatemala se vendían más frutas y una pequeña cantidad se usaba para consumo doméstico; en cambio en Perú se autoconsumían más frutas y el resto eran vendidas (Rice 2011). En el norte de Nicaragua la situación es diferente, el 70% de los ingresos son por venta de café, y el resto proviene de venta de musáceas y cítricos en mayor cantidad; leña, madera y plantas medicinales en menor proporción. Para el autoconsumo se destinaron las musáceas, leña, cítricos y madera (Shibli 2001). Esta clase de estudios que cuantifican los rendimientos agroforestales en cafetales son muy pocos; sin embargo, se reconoce que los productos provenientes de las plantas del dosel de sombra de cafetales generan ingresos por ventas pero no han sido estudiados a profundidad.

2.4. Relaciones entre diferentes servicios ecosistémicos

Las relaciones entre los SE generados por los cafetales bajo sombra pueden ser de tres tipos: facilitación, compromisos y neutras, que se deben principalmente a las prácticas de manejo de los productores (Rodríguez *et al.* 2006; Rapidel *et al.* 2011). La facilitación ocurre cuando al incrementar la provisión de un SE aumenta otro SE, como en el caso de conservación de biodiversidad, barreras contra plagas y enfermedades, mantenimiento o aumento de la fertilidad del suelo (Rapidel *et al.* 2011). También pueden presentarse situaciones de neutralidad en donde el aumento o disminución de un SE no afecta la provisión de otro servicio porque no hay interdependencia entre ellos (Rapidel *et al.* 2011). Los compromisos se manifiestan cuando un SE disminuye como consecuencia de aumentar la provisión de otro servicio (Rodríguez *et al.* 2006), como en el manejo intensivo de los cafetales para conseguir altos rendimientos de café se presentan efectos competitivos con los servicios de regulación como el almacenamiento de carbono (Verchot *et al.* 2007).

El crecimiento y rendimiento de café es afectado por los factores ambientales, estrategias de manejo y características de las especies de plantas asociadas (Van Oijen *et al.* 2010). Las plantas de café bajo sombra tienen varias respuestas fisiológicas: reducen la cantidad de botones florales, regulan la producción bienal, evitan superproducciones y disminuyen el agotamiento de los cafetos; a pleno sol ocurre lo contrario, los cafetos terminan en agotamiento y se disminuye la vida productiva del plantío (DaMatta 2004).

Modelos cualitativos proponen diferentes niveles de compromisos en los cinco tipos de cafetales propuestos por Moguel y Toledo (1999) (monocultivo a pleno sol, monocultivo de sombra, policultivo comercial, policultivo tradicional y rústico) para diferentes funciones de los cafetales (Jassogne *et al.* 2012). En sistemas rústicos se obtienen bajos rendimientos de café y alta captura de C; en sistemas de sombra mixta los rendimientos son intermedios con diferente grado de almacenamiento de C; y a pleno sol con alto uso de insumos se obtienen altos rendimientos de café pero menor servicio de regulación (Elmqvist *et al.* 2011). Para manejar eficientemente estos compromisos, en los cafetales se deben considerar las características de las especies de sombra (tamaño, densidad y forma de la copa) (Somarriba *et al.* 2013), factores de manejo agronómico, ambientales y socioeconómicos (Meylan *et al.* 2013).

Evaluar las relaciones entre SE de aprovisionamiento (producción de café y otros productos) y SE de regulación (almacenamiento de carbono) en diferentes tipos de cafetales es importante para identificar las variables que caracterizan los sistemas con menores compromisos y que aportan significativamente a los beneficios familiares (por venta y ahorro). Así contribuyen como mecanismos de adaptación y mitigación del cambio climático para seguir mejorando el diseño y manejo de cafetales bajo escenarios ganar-ganar.

3. RESULTADOS

- Se registraron 113 especies de leñosas, las más abundantes fueron: *Inga oerstediana* Benth. Ex Seem, *Citrus spp.* L, *Inga punctata* Willd, *Cedrela odorata* L., *Cordia alliodora (Ruiz & Pav.) Oken*, *Mangifera indica* L., *Persea americana* Mill.
- Los cafetales con mayor diversidad y densidad de plantas en el dosel de sombra almacenaron mayor cantidad de carbono en la biomasa aérea (35 Mg C ha^{-1}) y disminuyó a medida que se reducía la complejidad del sistema hasta pleno sol (7.8 Mg C ha^{-1}). En la biomasa aérea de las leñosas se registró el 74% del C, el restante se distribuyó entre plantas de café (19%) y musáceas (7%).
- Los principales productos agroforestales (PAF) identificados en los cafetales fueron café, frutas, bananos, leña y madera en pie. Estos productos aportan a la economía familiar tanto por venta como por ahorro al ser consumidos por las familias; sin embargo, el café siempre contribuye en mayor proporción en relación con los otros productos agroforestales (PAF) en todos los tipos de cafetales.
- El aporte económico del café es mayor en los sistemas a pleno sol y con sombra poco diversa (*C1* y *C2*) y va disminuyendo en los cafetales más diversos (*C3* y *C4*), pero esto es compensado por los ingresos generados por los PAF que se comportan de manera contraria al café, es decir, mayores ganancias por PAF cuanto más diversificado sea el cafetal.
- Se evidenciaron sinergias entre el carbono almacenado y los beneficios familiares en todos los tipos de cafetales y son más notorias en los cafetales *C3* y *C4*.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las plantas más utilizadas en los cafetales evaluados fueron los árboles de servicio (*Inga spp.*), frutales (*Citrus spp.*), maderables (*Cedrela odorata* y *Cordia alliodora*), y musáceas (*Musa acuminata* AAA), que brindan diferentes bienes y servicios ecosistémicos.
- La producción de café en sistemas agroforestales tiene gran potencial como mecanismo de adaptación y mitigación del cambio climático porque capturan carbono en la biomasa aérea y al mismo tiempo genera beneficios en términos económicos.
- Se proponen cafetales con alta diversidad, densidad media del dosel de sombra y con manejo agroecológico intensivo como alternativa para los pequeños y medianos caficultores que quieran obtener ganancias del café y de otros productos agroforestales mientras contribuyen con la reducción del CO_2 atmosférico.

LITERATURA CITADA

Albrecht, A.; Kandji, S.T. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. Agriculture, Ecosystems & Environment 99(1–3): 15-27.

Avelino, J.; Rivas, G. 2013. La roya anaranjada del cafeto. Consultado 5 de noviembre de 2014. Disponible en: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01071036.

Ávila, G.; Jiménez, F.; Beer, J.; Gómez, M.; Ibrahim, M. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. Agroforestería en las Américas 8(30): 32-35.

Beer, J.; Muschler, R.; Kass, D.; Somarriba, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. Agroforestry Systems (38): 139-164.

Beer, J.; Harvey, C.; Ibrahim, M.; Harmand, J.M.; Somarriba, E.; Jiménez, F. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. Agroforestería en las Américas 10(37-38): 80.

Bolaños, M. 2001. Unión Nicaragüense de Cafetaleros UNICAFE. El café y su impacto ambiental en Nicaragua. Agroforestería en las Américas 8(29): 46-47.

Camargo, M.B.P.d. 2010. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. Bragantia 69: 239-247.

Cerda, R.; Deheuvels, O.; Calvache, D.; Niehaus, L.; Saenz, Y.; Kent, J.; Vilchez, S.; Villota, A.; Martinez, C.; Somarriba, E. 2014. Contribution of cocoa agroforestry systems to family income and domestic consumption: looking toward intensification. Agroforestry Systems: 1-25.

DaMatta, F.M. 2004. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. Field Crops Research 86(2–3): 99-114.

Elmqvist, T.; Tuvendal, M.; Krshnaswamy, J.; Hylander, K. 2011. Managing trade-offs in ecosystems services. UNDP, Division of Environmental Policy Implementation Working Paper 4.

Häger, A. 2012. The effects of management and plant diversity on carbon storage in coffee agroforestry systems in Costa Rica. Agroforestry Systems 86(2): 159-174.

Hairiah, K.; Aritin, J.; Berlian; Prayogo, C.; van Noordwijk, M. 2002. Carbon stock assessment for a forest-to-coffee conversion landscape in Malang (East Java) and Sumber-Jaya (Lampung, Indonesia). Proceedings International Symposium on Forest Carbon and Monitoring: 28-36.

Henry, M.; Tittonell, P.; Manlay, R.J.; Bernoux, M.; Albrecht, A.; Vanlauwe, B. 2009. Biodiversity, carbon stocks and sequestration potential in aboveground biomass in smallholder farming systems of western Kenya. Agriculture, Ecosystems & Environment 129(1–3): 238-252.

Idol, T.; Haggar, J.; Cox, L. 2011. Ecosystem Services from Smallholder Forestry and Agroforestry in the Tropics. *In* Campbell, W.B.; Lopez Ortiz, S. eds. 2011. Integrating Agriculture, Conservation and Ecotourism: Examples from the Field. Springer Netherlands. p. 209-270.

INIDE (Instituto Nacional de Información de Desarrollo, Nicaragua); MAGFOR (Ministerio Agropecuario y Forestal, N. 2012. IV Censo Nacional Agropecuario CENAGRO 2011. Managua, Nicaragua, 60 p.

Jassogne, L.; vanAsten, P.; Laderach, P.; Craparo, A.; Wanyama, I.; Nibasumba, A.; Bielders, C. 2012. Climate-smart perennial systems. IITA R4D Review 9: 12-16.

Jha, S.; Bacon, C.M.; Philpott, S.M.; Rice, R.A.; Méndez, V.E.; Läderach, P. 2011. A Review of Ecosystem Services, Farmer Livelihoods, and Value Chains in Shade Coffee Agroecosystems. *In* Campbell, W.B.; Lopez Ortiz, S. eds. 2011. Integrating Agriculture, Conservation and Ecotourism: Examples from the Field. Springer Netherlands. p. 141-208.

Jose, S. 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. Agroforestry Systems 76(1): 1-10.

Läderach, P.; Zelaya, C.; Ovalle, O.; García, S.; Eitzinger, A.; Baca, M. 2012. Escenarios del impacto del clima futuro en áreas de cultivo de café en Nicaragua. Informe final. Cali, CO. Managua, NI, 32 p.

Lin, B.B. 2007. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. Agricultural and Forest Meteorology 144(1–2): 85-94.

Lin, B.B.; Perfecto, I.; Vandermeer, J. 2008. Synergies between Agricultural Intensification and Climate Change Could Create Surprising Vulnerabilities for Crops. BioScience 58(9): 847-854.

López, A.; Orozco, L.; Somarriba, E.; Bonilla, G. 2003. Tipologías y manejo de fincas cafetaleras en los municipios de San Ramón y Matagalpa, Nicaragua. Agroforestería en las Américas 10(37-38): 74-79.

MEA (Millennium Ecosystem Assessment,). 2003. MA Conceptual Framework. *In*. 2003. Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment. Island Press. p. 1-25.

Medina-Benavides, C.; Calero-González, C.; Hurtado, H.; Vivas-Soto, E. 2010. Cuantificación de carbono en la biomasa aerea de café (*Coffea arábica* L.) con sombra, en la comarca Palo de Sombrero, Jinotega, Nicaragua. La Calera 9(12): 28-34.

Méndez, E.; Castro-Tanzi, S.; Goodall, K.; Morris, K.S.; Bacon, C.; Läderach, P.; Morris, W.B.; Georgeoglou-Laxalde, M.U. 2012. Livelihood and environmental trade-offs of climate mitigation in smallholder coffee agroforestry systems. *In* Wollenberg, E.; Nihart, A.; Tapio-Bistrom, M.-L.; Grieg-Gran, M. eds. 2012. Climate change, mitigation and agriculture. New York, p. 370-381.

Méndez, V.E.; Bacon, C. 2005. Medios de vida y conservación de la biodiversidad arbórea: las experiencias de las cooperativas cafetaleras en El Salvador y Nicaragua. LEISA Revista de Agroecología 20: 27-30.

Méndez, V.E.; Bacon, C.M.; Olson, M.B.; Morris, K.S.; Shattuck, A. 2013. Conservación de agrobiodiversidad y medios de vida en cooperativas de café bajo sombra en Centroamérica. Revista Ecosistemas 22(1): 16-24.

Meylan, L.; Merot, A.; Gary, C.; Rapidel, B. 2013. Combining a typology and a conceptual model of cropping system to explore the diversity of relationships between ecosystem services: The case of erosion control in coffee-based agroforestry systems in Costa Rica. Agricultural Systems 118(0): 52-64.

Moguel, P.; Toledo, V.M. 1999. Biodiversity Conservation in Traditional Coffee Systems of Mexico. Conservation Biology 13(1): 11-21.

Montagnini, F.; Nair, P.K.R. 2004. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. Agroforestry Systems 61-62(1-3): 281-295.

Oelbermann, M.; Paul Voroney, R.; Gordon, A.M. 2004. Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and southern Canada. Agriculture, Ecosystems & Environment 104(3): 359-377.

Olschewski, R.; Klein, A.-M.; Tscharntke, T. 2010. Economic trade-offs between carbon sequestration, timber production, and crop pollination in tropical forested landscapes. Ecological Complexity 7(3): 314-319.

Orozco, L.; López, A. 2013. Evolución, aplicación y futuro de la agroforestería en Nicaragua. Agroforestería en las Américas (49): 99-110.

Peeters, L.Y.K.; Soto-Pinto, L.; Perales, H.; Montoya, G.; Ishiki, M. 2003. Coffee production, timber, and firewood in traditional and Inga-shaded plantations in Southern Mexico. Agriculture, Ecosystems & Environment 95(2–3): 481-493.

Rahn, E.; Läderach, P.; Baca, M.; Cressy, C.; Schroth, G.; Malin, D.; van Rikxoort, H.; Shriver, J. 2013. Climate change adaptation, mitigation and livelihood benefits in coffee production: where are the synergies? Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change: 1-19.

Rapidel, B.; LeCoq, J.F.; DeClerck, F.A.J.; Beer, J. 2011. Measurement and payment of ecosystem services from agriculture and agroforestry. New insights from the Neotropics. *In* Rapidel, B.; Lecoq, J.F.; DeClerck, F.A.J.; Beer, J. eds. 2011. Ecosystem services from agriculture and agroforestry. Measurement and payment. London, UK, Earthscan. p. 377-395.

Raudsepp-Hearne, C.; Peterson, G.D.; Bennett, E.M. 2010. Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes. Proceedings of the National Academy of Sciences.

Rice, R.A. 2008. Agricultural intensification within agroforestry: The case of coffee and wood products. Agriculture, Ecosystems and Environment 128: 212-218.

_____. 2011. Fruits from shade trees in coffee: how important are they? Agroforestry Systems 83(1): 41-49.

Richards, M.B.; Méndez, V.E. 2014. Interactions between Carbon Sequestration and Shade Tree Diversity in a Smallholder Coffee Cooperative in El Salvador. Conservation Biology 28(2): 489-497.

Rodríguez, J.P.; Beard, T.D.; Bennett, E.M.; Cumming, G.S.; Cork, S.J.; Agard, J.; Dobson, A.P.; Peterson, G.D. 2006. Trade-offs across space, time, and ecosystem services. Ecology and Society 11(1): 28.

Schroth, G.; Mota, M.; Hills, T.; Soto-Pinto, L.; Wijayanto, I.; Arief, C.; Zepeda, Y. 2011. Linking Carbon, Biodiversity and Livelihoods Near Forest Margins: The Role of Agroforestry. *In* Kumar, B.M.; Nair, P.K.R. eds. 2011. Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems. Springer Netherlands. p. 179-200. (Advances in Agroforestry).

Segura, M.; Kanninen, M.; Suárez, D. 2006. Allometric models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. Agroforestry Systems 68(2): 143-150.

Shibli, C. 2001. Percepciones de familias productoras sobre el uso y manejo de sistemas agroforestales con café, en el norte de Nicaragua. Agroforestería en las Américas 8(29).

Solórzano, J.; Cáceres, F. 2012. Programa de Mejoramiento Productivo de la Caficultura para Pequeños y Medianos Productores. Serie de estudios especiales 15: 67.

Somarriba, E. 1990. Sustainable timber production from uneven-aged shade stands of Cordia alliodora in small coffee farms. Agroforestry Systems 10(3): 253-263.

Somarriba, E.; Harvey, C.A.; Samper, M.; Anthony, F.; González, J.; Staver, C.; Rice, R.A. 2004. Biodiversity conservation in neotropical coffee (Coffea arabica) plantations. *In* G, S.; GAB, F.; HarveyCA. eds. 2004. Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes. Island Press, Washington, DC. p. 198-226.

Somarriba, E.; Beer, J.; Alegre-Orihuela, J.; Andrade, H.; Cerda, R.; DeClerck, F.; Detlefsen, G.; Escalante, M.; Giraldo, L.; Ibrahim, M.; Krishnamurthy, L.; Mena-Mosquera, V.; Mora-Degado, J.; Orozco, L.; Scheelje, M.; Campos, J. 2012. Mainstreaming Agroforestry in Latin America. *In* Nair, P.K.R.; Garrity, D. eds. 2012. Agroforestry - The Future of Global Land Use. Springer Netherlands. p. 429-453. (Advances in Agroforestry).

Somarriba, E.; Cerda, R.; Orozco, L.; Cifuentes, M.; Dávila, H.; Espin, T.; Mavisoy, H.; Ávila, G.; Alvarado, E.; Poveda, V.; Astorga, C.; Say, E.; Deheuvels, O. 2013. Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. Agriculture, Ecosystems and Environment (173): 46– 57.

Soto-Pinto, L.; Anzueto, M.; Mendoza, J.; Ferrer, G.; Jong, B. 2010. Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico. Agroforestry Systems 78(1): 39-51.

Souza, H.N.; de Goede, R.G.M.; Brussaard, L.; Cardoso, I.M.; Duarte, E.M.G.; Fernandes, R.B.A.; Gomes, L.C.; Pulleman, M.M. 2012. Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the Atlantic Rainforest biome. Agriculture, Ecosystems & Environment 146(1): 179-196.

Suárez, D. 2002. Cuantificación y valoración económica del servicio ambiental almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café en la Comarca Yassica Sur, Matagalpa, Nicaragua. MSc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 117 p.

Swift, M.J.; Izac, A.M.N.; van Noordwijk, M. 2004. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes—are we asking the right questions? Agriculture, Ecosystems & Environment 104(1): 113-134.

Takimoto, A.; Nair, P.K.R.; Nair, V.D. 2008. Carbon stock and sequestration potential of traditional and improved agroforestry systems in the West African Sahel. Agriculture, Ecosystems & Environment 125(1–4): 159-166.

Vaast, P.; Beer, J.; Harvey, C.; Harmand, J.M. 2005. Environmental services of coffee agroforestry systems in Central America: a promising potential to improve the livelihoods of coffee farmers' communities. *In* Henry A. Wallace/ Inter-American Scientific Conference Series (Turrialba, Costa Rica) 2005. p. 35-39.

van Noordwijk, M.; Rahayu, S.; Hairiah, K.; Y.C.Wulan; Farida, A.; Verbist, B. 2002. Carbon stock assessment for a forest-to-coffee conversion landscape in Sumber-Jaya (Lampung, Indonesia): from allometric equations to land use change analysis. Science in China Series C-Life Sciences 45: 75-86.

van Oijen, M.; Dauzat, J.; Harmand, J.-M.; Lawson, G.; Vaast, P. 2010. Coffee agroforestry systems in Central America: II. Development of a simple process-based model and preliminary results. Agroforestry Systems 80(3): 361-378.

van Rikxoort, H.; Schroth, G.; Läderach, P.; Rodríguez-Sánchez, B. 2014. Carbon footprints and carbon stocks reveal climate-friendly coffee production. Agronomy for Sustainable Development 34(4): 887-897.

Verchot, L.; Noordwijk, M.; Kandji, S.; Tomich, T.; Ong, C.; Albrecht, A.; Mackensen, J.; Bantilan, C.; Anupama, K.V.; Palm, C. 2007. Climate change: linking adaptation and mitigation through agroforestry. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 12(5): 901-918.

Westphal, S.M. 2008. Coffee agroforestry in the aftermath of modernization: Diversified production and livelihood strategies in post-reform Nicaragua. *In* Bacon, C.M.; Méndez, V.E.; Gliessman, S.R.; Goodman, D.; Fox, J.A. eds. 2008. Confronting the coffee crisis fair trade, sustainable livelihoods and ecosystems in Mexico and Central America. The MIT Press Cambridge, Massachusetts. London, England. p. 179-205.

Artículo: Almacenamiento de carbono y beneficios familiares obtenidos de cafetales en fincas de pequeños productores de Nicaragua

Miryan Pinoargote Chang[*]
[*]CATIE, Escuela de Posgrado, MAP-Noruega; Cartago, Turrialba, 30501, Costa Rica.

RESUMEN

El café (*Coffea arabica* L.) es el producto agrícola más importante de Nicaragua, tradicionalmente se cultiva *bajo sombra* asociado con árboles y otras plantas que brindan bienes y servicios a los pequeños productores. Bajo el escenario de cambio climático se prevé que muchas zonas van a perder su aptitud cafetalera, lo que aumenta la vulnerabilidad de las familias que basan su economía exclusivamente en este cultivo. Por tanto, surge la necesidad de identificar sistemas agroforestales con café que provean varios servicios ecosistémicos que actúen como estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático, a la vez que generen ganancias a los caficultores. Para esto se evaluaron 27 cafetales agrupados en 4 tipos de sombra (*C1* café a pleno sol; *C2* café, musáceas y árboles de servicio; *C3* café, árboles de servicio y maderables; *C4* café, árboles de servicio, maderables, frutales y musáceas). Se estimó el carbono almacenado en la biomasa aérea; se cuantificaron los rendimientos de los productos agroforestales (café, frutas, bananos, madera en pie y leña), costos en efectivo, costos en especie y se calculó el valor de los ingresos y autoconsumo de las familias a través de tres indicadores económicos: flujo neto, ingreso neto y beneficios familiares. El carbono almacenado varió desde 7.8 Mg ha^{-1} en cafetales sin sombra hasta 35.3 Mg ha^{-1} en cafetales con sombra más diversificada. Los árboles almacenaron el 74% del C (19.6 Mg C ha^{-1} en promedio), seguido por 19% en las plantas de café (4.9 Mg C ha^{-1} en promedio) y 7% en las musáceas (1.9 Mg C ha^{-1} en promedio). Los productos agroforestales en conjunto aportan positivamente al flujo neto, ingreso neto y beneficios familiares; el café genera más ganancias que otros productos agroforestales, los que son muy importantes por sus aportes a los beneficios familiares (por consumo doméstico). Se encontraron sistemas que pueden proveer los dos servicios en estudio (carbono-provisión) de forma sinérgica, especialmente en cafetales *C3* y *C4* (alta diversidad y densidad de plantas). Los cafetales con sombra diversificada se proponen como alternativa de producción para pequeños y medianos caficultores con el propósito de reducir su vulnerabilidad ante el cambio climático y mejorar sus medios de vida.

PALABRAS CLAVE: Café, agroforestería, carbono, autoconsumo, compromisos, cambio climático.

1. Introducción

Los cafetales con doseles de sombra diversificados son considerados agroecosistemas de alta calidad debido a la biodiversidad que albergan y los servicios ecosistémicos que proveen (Somarriba *et al.* 2004; Perfecto *et al.* 2007; Jha *et al.* 2011). Estos sistemas proporcionan estabilidad ecológica y económica, especialmente a los pequeños productores (Lin *et al.* 2008),

porque reducen su vulnerabilidad ante el cambio climático, inseguridad alimentaria, epidemias por plagas y enfermedades (Tscharntke *et al.* 2011) y complementan los ingresos cuando cae el precio del café (Beer *et al.* 1998).

En Nicaragua se prevé que el impacto del cambio climático reducirá la aptitud de zonas cafetaleras debido a la disminución de precipitación y aumento moderado de la temperatura (Läderach *et al.* 2011). La diversificación y manejo del dosel sombra en los cafetales conjuntamente con otras prácticas "climáticamente inteligentes"[1] pueden aumentar la resiliencia de estos sistemas (Rahn *et al.* 2013; Harvey *et al.* 2014; Mbow *et al.* 2014) y disminuir los riesgos por cambios en el clima, debido a que modifican el microclima para protección de las plantas de café (Lin 2007; Lin *et al.* 2008; Lin 2011). Además, el café bajo sombra puede aumentar la economía familiar ya que los bienes obtenidos de los cafetales (frutas, madera y leña, entre otros) son importantes aportes a los medios de vida (Méndez *et al.* 2013). Muchos son utilizados para consumo doméstico o venta, dependiendo de las necesidades económicas y nutricionales de las familias (Leakey *et al.* 2005). Los cafetales también tienen gran potencial para almacenar carbono en la biomasa aérea de los árboles del dosel y plantas de café (Méndez *et al.* 2012). Ambos beneficios pueden ser considerados como aportes parciales a los mecanismos de adaptación y mitigación del cambio climático (Rahn *et al.* 2013).

Existen revisiones e investigaciones sobre cafetales enfocadas en características y manejo del dosel de sombra (Beer 1987; Beer *et al.* 1998), efecto de la sombra en rendimientos de café (Soto-Pinto *et al.* 2000) y secuestro de carbono en diferentes componentes del sistema (Van Noordwijk *et al.* 2002; Soto-Pinto *et al.* 2010; Richards y Méndez 2014). Pocos trabajos cuantifican la producción de otros productos agroforestales (Somarriba 1990; Shibli 2001; Peeters *et al.* 2003; Rice 2008, 2011), y menos investigaciones les han dado valor económico para incluirlos como beneficios familiares (por venta y autoconsumo) (Rice 2008, 2011; Cerda *et al.* 2014). Igualmente es escasa la información sobre las relaciones entre servicios de provisión y otros servicios ecosistémicos que permitan aportar en las estrategias de adaptación y mitigación del cambio climático con la finalidad de mejorar la economía familiar (Verchot *et al.* 2007).

Para tener éxito en el diseño y manejo de los sistemas agroforestales con café, los esfuerzos deben enfocarse en medir las sinergias y compromisos entre el bienestar del agroecosistema y el de las familias (Chapin *et al.* 2010). Para esto las recomendaciones deben basarse en los objetivos de producción de las familias y en fortalecer sus conocimientos y experiencias (Schroth *et al.* 2009). Los beneficios de los SAF para la conservación de la biodiversidad son muy tangibles, pero falta indagar más sobre los compromisos que enfrentan las familias a corto y largo plazo (Toledo y Moguel 2012), especialmente ahora que la comunidad internacional está preocupada en mantener los SE y las familias rurales están preocupadas en mantener sus limitados medios de vida provenientes de la caficultura (Gockowski *et al.* 2001). Por tanto, esta investigación pretende identificar y documentar cafetales agroforestales que maximicen al menos dos servicios

[1] Basado en Agricultura Climáticamente Inteligente (CSA) que tiene como pilares incrementar de manera sostenible la productividad y los ingresos agrícolas, además de reducir y/o eliminar las emisiones de gases de efecto invernadero. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, IT). 2013. Climate-Smart Agriculture Sourcebook. IT, 557 p.

ecosistémicos (carbono-provisión); y surgen dos preguntas: ¿Cuál es la contribución relativa del café, frutas, madera, leña y otros productos agroforestales al beneficio familiar? ¿Cuáles son los cafetales capaces de almacenar importantes cantidades de carbono y proveer altos beneficios familiares?

2. Materiales y métodos

2.1. Definiciones y términos

Cafetales o sistemas hace referencia a las plantas de café (*Coffea arabica* L.), incluidas las plantas del dosel de sombra (Somarriba 2002). El **dosel de sombra** es un volumen, espacio tridimensional cuya base es igual al área y figura del terreno donde se ubica el cafetal y la altura igual a la del árbol más alto (Somarriba *et al.* 2014). Los **tipos** de cafetales se establecieron *a priori* con base en la composición botánica del dosel de sombra tomando como referencia a Bonilla y Somarriba 2000; Castillo y Ortíz 2003; López *et al.* 2003; Zúñiga *et al.* 2004 y comunicaciones personales con especialistas locales; se seleccionaron 4 tipos: ***C1*** (café a pleno sol), ***C2*** (café, musáceas y árboles de servicio), ***C3*** (café, árboles de servicio y maderables), ***C4*** (café, árboles de servicio, maderables, frutales y musáceas). Los **árboles de servicio** son los que proveen sombra e incluyen algunas leguminosas fijadoras de nitrógeno. Los **productos agroforestales** incluyen al café, bananos, frutas y leña obtenidos de los cafetales. El **café oro** es el café seco sin endocarpio (pergamino o cáscara).

2.2. Ubicación y descripción de los cafetales

Se evaluaron 27 cafetales (26.2 ha en total) de la zona centro norte de Nicaragua en municipios El Cuá, El Tuma – La Dalia, Jinotega y Rancho Grande (Figura 1) que tienen un área importante dedicada al cultivo de café. Para la selección de cafetales se hicieron visitas previas en cada localidad y se escogieron únicamente los sistemas que más coincidieron con los tipos propuestos *a priori*, por eso el número de cafetales en cada municipio y por cada tipo fue diferente. Entonces se registraron 8 cafetales de los tipos *C2* y C3, 7 cafetales de *C4* y solo 4 cafetales de *C1* (a pleno sol), porque son poco comunes. Las características de clima, altitud y áreas por municipio se detallan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características de los cafetales en los municipios de la zona centro norte de Nicaragua.

Características	El Cuá	El Tuma-La Dalia	Jinotega	Rancho Grande
Rangos de temperatura (°C)	24-25	22-24	19-21	20-24
Rangos de precipitación (mm)	1600-2000	2000-2500	2000-2600	2000-2400
Número de cafetales	11	5	9	2
Altitud* (msnm)	509-988	648-1193	978-1199	810-977
Área total* (ha)	11.1	4.3	8.5	2.3
Tipo de cafetal	*C1,C2,C3,C4*	*C3,C4*	*C2,C4*	*C1*

*De los cafetales evaluados

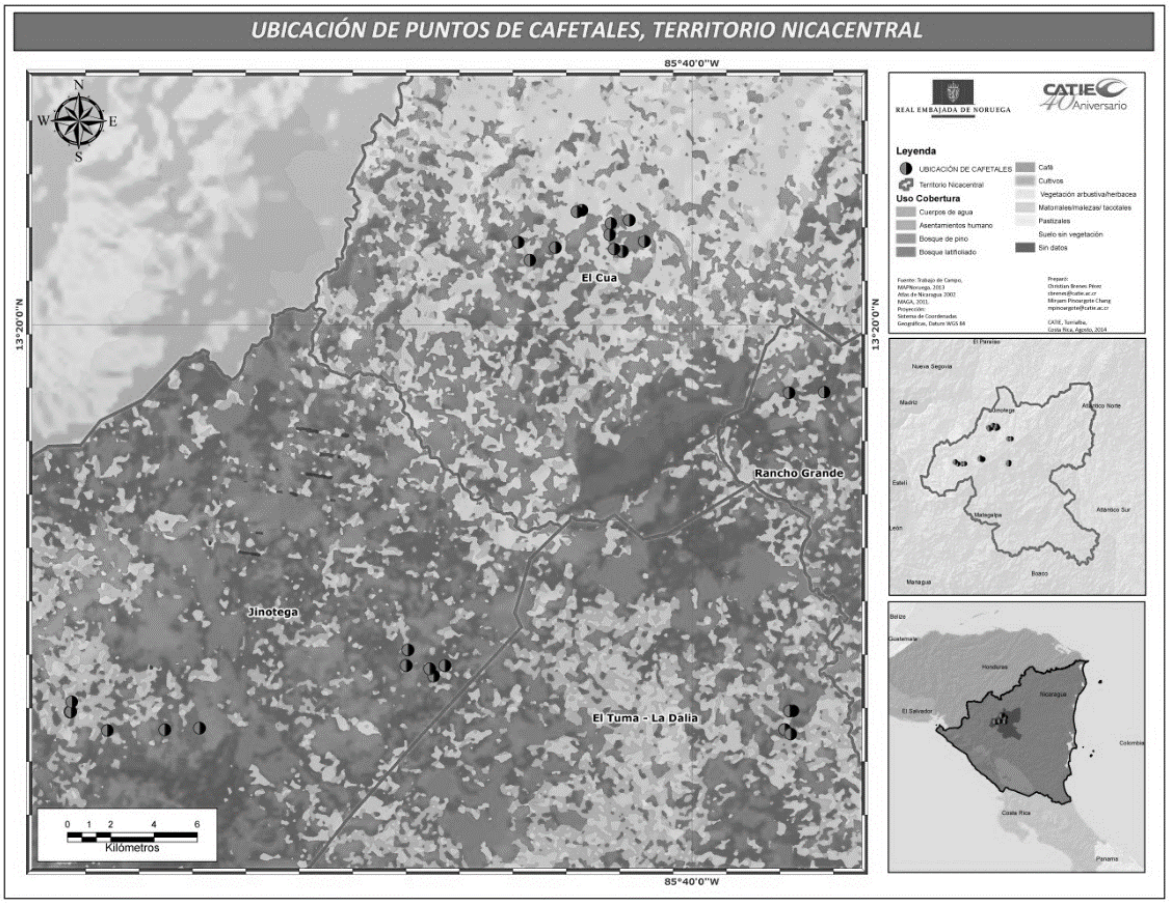

Figura 1. Localización de los cafetales estudiados en la zona centro norte de Nicaragua.

Los cafetales seleccionados tuvieron edad promedio de 8 años, sombra promedio de 44% y variedades de café como Catimor, Caturra, Paca, Borbón, Catuaí, Maragogipe e híbridos. El manejo agronómico de las plantaciones era convencional con aplicación de fungicidas, fertilizantes al suelo y al follaje, insecticidas o trampas para control de broca, regulación de los árboles de sombra y podas a las plantas de café 1 vez al año o cada 2 años, control químico y manual de arvenses. Además se realizaba el beneficiado, que incluye despulpado, fermentación, lavado y secado del café. La mano de obra era tanto familiar como contratada.

2.3. Variables estudiadas

La investigación incluyó la evaluación de cinco grupos de variables: (1) diversidad de especies de plantas; (2) densidad del cafetal: densidades y áreas basales por tipo de planta; (3) carbono almacenado en biomasa aérea; (4) rendimiento de productos agroforestales; (5) indicadores económicos: flujo neto, ingreso neto y beneficios familiares.

2.3.1. Diversidad y densidad de plantas

Se hicieron inventarios completos de todas las especies de plantas de los doseles de sombra, junto con medidas de dap (diámetro del tallo a la altura del pecho 1.30 m) > 5cm; cuando se presentan varios ejes se calculó el diámetro cuadrático medio ($DCM=\sqrt{\sum dap_n^2}$) (Snowdon *et al.* 2002) y se clasificaron por tipo de planta (frutal productivo o no productivo, leña, maderable, de

servicio, musácea). El dap se utilizó para calcular el área basal en m^2 ($g=\pi/4*dap^2$), biomasa aérea (kg) con ecuaciones alométricas (Cuadro 2) y el volumen de madera en pie en m^3 ($VMP=g*h*f$) de los árboles maderables con dap > 30 cm usando el factor de forma *f* 0.6 (Detlefsen *et al.* 2012). También se midió el d15 (diámetro a 15 cm del suelo) de 100 arbustos de café que fueron seleccionados al azar en 4 puntos del plantío con 25 plantas cada uno (Aguilar y Guharay 2009), y todos los resultados fueron extrapolados a hectárea.

También se estimó la riqueza de especies de leñosas (total y por tipo) y se elaboraron curvas de acumulación de especies para comparar la riqueza entre tipos de cafetales. Además se calcularon índices de diversidad de Shannon (H´) y Simpson (D) para conocer la equidad y dominancia de las especies registradas. Las curvas de acumulación de especies se realizaron con el paquete *vegan* (Oksanen *et al.* 2013) de R (R Development Core Team 2008) en el programa estadístico Infostat® (Di Rienzo *et al.* 2013), y la riqueza e índices de diversidad se calcularon en el programa PAST (Hammer *et al.* 2006).

2.3.2. Carbono almacenado en biomasa aérea

La cantidad de carbono (C) almacenado (Mg ha^{-1}) está dado por C = biomasa * fracción de carbono. La biomasa aérea de las plantas del cafetal se estimó utilizando ecuaciones alométricas que en su mayoría fueron desarrolladas localmente (Cuadro 2), y la fracción de carbono en biomasa fue 0.47 (Kirby y Potvin 2007).

Cuadro 2. Ecuaciones alométricas para estimar la biomasa aérea de los cafetales en la zona centro norte de Nicaragua.

Especies	Ecuación	Fuente
Coffea arabica	$B = 10^{(-1.181 + 1.991 * \log_{10}(d_{15}))}$	Segura *et al.* (2006)
Cordia alliodora	$B = 10^{(-0.755 + 2.072 * \log_{10}(dap))}$	Segura *et al.* (2006)
Inga spp.	$B = 10^{(-0.559+2.067* \log_{10}(dap))}$	Segura *et al.* (2006)
Junglans olanchana	$B = 10^{(-1.417 + 2.755 * \log_{10}(dap))}$	Segura *et al.* (2006)
Theobroma cacao	$B = 10^{(-1.625 + 2.63* \log_{10}(d_{30}))}$	Andrade *et al.* (2008)
Bactris gasipaes	$B = 0.74 * h^2$	Szott *et al.* (1993)
Árboles frutales	$B = 10^{(-1.11 + 2.64 * \log_{10}(dap))}$	Andrade *et al.* (2008)
Otros árboles	$B = (21.3 - 6.95 *(dap)+ 0.74 (dap^2))$	Brown y Iverson (1992)
Musáceas	$B = 0.030 * dap^{2.13}$	Van Noordwijk *et al.* (2002)

B = biomasa (kg); $\log_{10}$ = logaritmo de base 10; dap = diámetro del tallo (cm) a la altura del pecho (1.3 m); d_{15} = diámetro del tallo (cm) a 15 cm; d_{30} = diámetro del tallo (cm) a 30 cm; h = altura total (m).

2.3.3. Rendimiento de productos agroforestales e indicadores económicos

Por medio de una entrevista semiestructurada con la persona encargada del cafetal se cuantificaron rendimientos, costos de producción e ingresos de café y de otros productos agroforestales. Se calcularon los promedios y varianzas de rendimientos de café (qq oro ha^{-1}) mediante una distribución triangular de probabilidad utilizando los valores máximo, mínimo y moda de cosecha con el paquete *triangle* (Carnell 2013) de R (R Development Core Team 2008) en el programa estadístico Infostat® (Di Rienzo *et al.* 2013). También se registró la producción del año 2013 de otros productos agroforestales: bananos (kg ha^{-1}), frutas (unidades ha^{-1}), leña (m^3 ha^{-}

^{1}) y volumen de madera en pie (m^3 ha^{-1}). Estos productos eran destinados tanto para venta (a intermediarios o mercado) como para el consumo doméstico. Los costos en efectivo incluyeron la compra de fungicidas, fertilizantes, insecticidas y trampas para broca, transporte del café y mano de obra contratada; los costos en especie corresponden a los valores monetarios de la mano de obra familiar. Todos los precios de venta-compra de productos y mano de obra fueron los reportados por las familias. Se calcularon los indicadores económicos propuestos por Cerda *et al.* (2014): flujo neto (FN), ingreso neto (IN) y beneficios familiares (BF):

$$IBV = CV * PM$$

$$FN = IB – CE$$

$$IN = FN – CS$$

$$VCD = CCD * PM$$

$$BF = FN + VCD$$

$$BFDT = BF/DT$$

donde: IBV=ingresos brutos por venta de los productos agroforestales; CV=cantidad de productos agroforestales vendidos; PM=precio de mercado reportado por las familias; FN=flujo neto; CE=costos en efectivo; IN=ingresos netos; CS=costos en especie; CCD= cantidad de productos agroforestales consumidos por las familias; VCD=valor por consumo doméstico BF=beneficios familiares; DT=día de trabajo por miembros de la familia. Los resultados están expresados en dólares norteamericanos (US$).

2.4. Análisis estadísticos de datos

2.4.1. Análisis de similitud

Para estimar la similitud florística de los tres tipos de cafetales con sombra se calculó el índice de Jaccard y se presentó en porcentaje. Este índice toma valores entre 0 y 1, el valor 0 significa que no tienen especies en común y 1 cuando la composición botánica de los sitios es igual. Se utilizó el programa Infostat (Di Rienzo *et al.* 2013).

2.4.2. Análisis de varianza y comparación de medias

Para evaluar las diferencias entre tipos de cafetales para las variables densidad, carbono e indicadores económicos, se realizaron análisis univariados de varianza con modelos lineales generales y mixtos declarando como efecto fijo los tipos de cafetales. También se realizaron análisis multivariados de varianza utilizando la distribución de Hotelling para ver las diferencias entre los tipos de cafetales. En cada modelo se evaluaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante los gráficos de residuos y valores predichos. Se corrigió la falta de homogeneidad de varianzas utilizando modelos con varianzas residuales heteroscedásticas, para el incumplimiento de la normalidad se transformaron las variables a logaritmo natural y los resultados se presentaron en las unidades originales. Existieron variables económicas y de rendimiento que después de ser transformadas no cumplieron el supuesto de normalidad, por ello no se analizaron mediante análisis de varianza sino que solo se presentó estadística descriptiva y gráficos de barras con porcentajes. Cuando se encontraron diferencias estadísticas (α=0.05) se

utilizó la prueba LSD (diferencia mínima significativa) de Fisher para comparar las medias. Todos los análisis y gráficos se elaboraron en el programa estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.* 2013).

2.4.3. Análisis de compromisos

Para determinar la clase de relaciones (sinérgicas o competitivas) que existieron entre carbono y los beneficios familiares, se desarrollaron modelos lineales generales y mixtos, declarando como variable de respuesta el carbono total, como efecto fijo los beneficios familiares y efecto aleatorio los tipos de cafetales. En todos los casos se evaluó el cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas del modelo. La bondad de ajuste del modelo lineal se evaluó con el coeficiente de determinación (R^2). Los análisis se efectuaron en el programa estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.* 2013).

2.4.4. Comparaciones entre variables biofísicas y económicas

Se elaboró una matriz donde se compararon de a pares los tipos de cafetales por cada una de las variables biofísicas y económicas evaluadas, las mismas que fueron ordenadas desde las que tuvieron diferencias significativas hasta las que no tuvieron diferencias; esto con la finalidad de identificar cuáles fueron las características en que más difirieron los sistemas. Finalmente con base en las variables identificadas con mayor variación, se propuso un diseño de cafetal que permita conseguir altos beneficios familiares y alto contenido de carbono en biomasa aérea sin limitarse a los tipos de cafetales propuestos *a priori*.

3. Resultados

3.1. Composición botánica de los cafetales

Se inventariaron 4518 individuos y se registraron 113 especies de leñosas en una superficie total de 26.2 ha. Las curvas de rarefacción (Figura 2) presentaron diferente cantidad de especies acumuladas por tipo de cafetal y podrían seguir aumentando a mayor esfuerzo de muestreo hasta estabilizar las curvas. Los índices de diversidad mostraron que *C4* tiene mayor equidad y menos dominancia de especies, *C2* tiene mayor dominancia y menos equidad, *C3* presenta equidad y dominancia intermedia en relación con los otros tipos (Cuadro 3). El índice de similitud de Jaccard entre *C2* y *C3* fue de 27%, 30% en *C2* y *C4*, 43% en *C3* y *C4*, es decir que los cafetales son distintos entre ellos en relación con el total de especies registradas. Por tipo de planta, el 53% de individuos eran árboles de servicio (4% para leña), 27% maderables y 20% frutales; las especies de leñosas más frecuentes y abundantes en cada tipo de cafetal se presentan en el Anexo 1.

Cuadro 3. Riqueza de especies e índices de diversidad de plantas del dosel de sombra en diferentes tipos de cafetales en la zona centro norte de Nicaragua.

	C1	C2	C3	C4
		M±EE	M±EE	M±EE
Riqueza total	0	11.1±1.5	18±3.9	27±2.4
Riqueza de árboles frutales	0	3.9±0.8	4.8±1.5	9.1±1.2
Riqueza de árboles maderables	0	2±0.5	5.4±1.1	7.7±1.3
Riqueza de árboles de servicio	0	5.3±0.7	7.8±1.6	9.9±1.1
Índice de Shannon (H´)	0	1.2±0.2	1.7±0.2	2.4±0.2
Índice de Simpson (D)	0	0.5±0.1	0.3±0.1	0.2±0.1

C1 café a pleno sol; *C2* café, musáceas y árboles de servicio; *C3* café, árboles de servicio y maderables; *C4* café, árboles de servicio, maderables, frutales y musáceas; *M* media; *EE* error estándar.

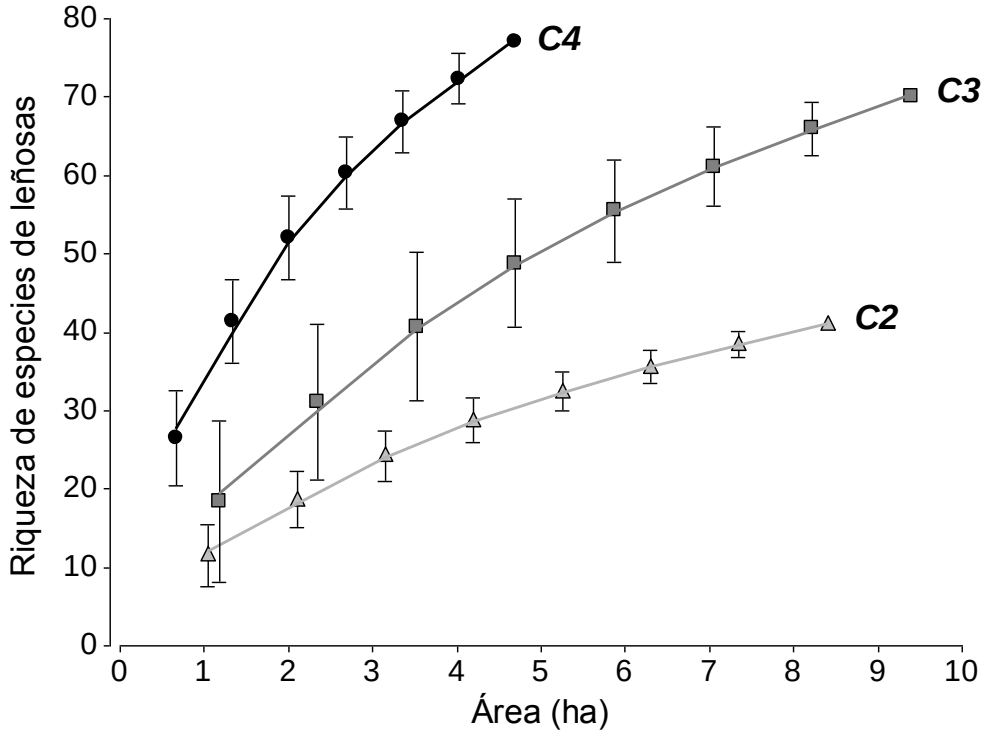

Figura 2. Curvas de acumulación de especies de leñosas del dosel de sombra en diferentes tipos de cafetales en la zona centro norte de Nicaragua.

3.2. Densidad y área basal de plantas

La densidad de cafetos no difiere en los cuatro tipos de cafetales, pero en área basal las plantas de café a pleno sol son más vigorosas que las que están en SAF. La densidad total de leñosas es diferente en todos los sistemas, entre *C3* y *C4* es más del doble, pero cabe resaltar que en cuanto a área basal son iguales y que difieren con el sistema más simple (*C2*). Las musáceas son dominantes en *C2* (Cuadro 4).

Cuadro 4. Densidad (individuos ha^{-1}) y área basal (m^2 ha^{-1}) de las plantas del dosel de sombra en diferentes tipos de cafetales en la zona centro norte de Nicaragua.

Componente	C1 M ± EE	C2 M ± EE	C3 M ± EE	C4 M ± EE	Promedio	*F*	*P*
Densidad							
Frutales	N/A	6±0.4 b	9.8±0.4 b	121.1±0.5 a	51.5±18.4	19.94	<0.0001
Maderables	N/A	3.4±0.4 b	70.8±0.4 a	62±0.4 a	49.7±11.9	34.68	<0.0001
Servicio	N/A	83.6±0.2 b	75.6±0.2 b	175.5±0.2 a	104±15.7	96.92	<0.0001
Total leñosas	N/A	98.1±0.2 c	178.1±0.2 b	400.5±0.2 a	205.2±35.8	142.98	<0.0001
Musáceas	N/A	515.51±70.6a	207.7±70.6 b	178.8±75.5 b	260.7±50.3	7.2	0.0014
Total dosel	N/A	629.3±86.0 a	405±86.0 a	614.8±91.9 a	465.8±61.2	7.14	0.0015
Café	5326.5±1.1a	5310.3±1.1 a	5641.6±1.1 a	5874±1.1 a	5607.2±155.7	0.75	0.5354
Área basal							
Frutales	N/A	0.4±0.2 b	0.4±0.2 b	3.2±0.2 a	1.3±0.4	15.13	<0.0001
Maderables	N/A	0.2±0.2 c	3.9±0.2 a	1.9±0.2 b	2±0.5	19.56	<0.0001
Servicio	N/A	3.8±0.7 a	4.4±0.7 a	4.9±0.7 a	3.7±0.5	6.45	0.0025
Total leñosas	N/A	4.5±1.1 b	9.2±1.1 a	11.4±1.2 a	7±1	14.37	<0.0001
Musáceas	N/A	13.8±2.2 a	6.9±2.2 b	4.5±2.3 b	7.3±1.4	5.47	0.0055
Total dosel	N/A	18.3±2.6 a	16.1±2.6 a	15.9±2.8 a	14.3±1.8	5.98	0.0036
Café	19.56±1.2a	11.37±1.2b	8.37±1.2b	9.48±1.2b	12.21±1.5	4.12	0.0178

Diferentes letras a lo largo de las filas expresan diferencias significativas entre los tipos de cafetales (LSD Fisher, p <0.05). *C1* café a pleno sol; *C2* café, musáceas y árboles de servicio; *C3* café, árboles de servicio y maderables; *C4* café, árboles de servicio, maderables, frutales y musáceas; *M* media, *EE* error estándar.

3.3. Carbono almacenado en la biomasa aérea de las plantas

La biomasa aérea total de los cafetales almacenó en promedio 26.5 Mg C ha^{-1}, con diferencias significativas entre tipos de cafetales. Los *C4* almacenaron más carbono, *C3* acumuló valor intermedio entre *C4* y *C2*, *C1* fue diferente a todos (Cuadro 5). En promedio, de todos los cafetales el componente leñosas tuvo el 74% del carbono y estuvo repartido entre árboles de servicio (34%), frutales (21%) y maderables (19%); las plantas de café capturaron el 19% (4.9 Mg C ha^{-1}) y las musáceas 7% (1.9 Mg C ha^{-1}).

La relación entre el C almacenado, el esfuerzo de muestreo (número de árboles evaluados, en porcentaje) y el diámetro de los árboles mostró los numerosos individuos con menos de 16.5 cm de diámetro que representan apenas el 10% del C almacenado en este componente, pero constituyen el 50% del total registrado y analizado en los inventarios de árboles en los cafetales (Figura 3). Para estimar el C almacenado en los árboles de los cafetales de El Cuá, EL Tuma – La Dalia y Jinotega, se podría excluir del inventario árboles con diámetros menores a 16.5 cm, sabiendo que estaremos dejando por fuera el 10% de la biomasa total contenida en estos árboles.

Cuadro 5. Carbono almacenado (Mg ha^{-1}) en la biomasa aérea de las plantas del dosel de sombra en diferentes tipos de cafetales en la zona centro norte de Nicaragua.

Componente	C1 M ± EE	C2 M ± EE	C3 M ± EE	C4 M ± EE	Promedio	*F*	*P*
Frutales	N/A	1.4±0.3 b	1.3±0.3 b	10.5±0.4 a	5.4±1.9	9.82	0.0002
Maderables	N/A	0.7±0.3 b	8.5±0.3 a	4.8±0.3 a	5±1.2	17.30	<0.0001
Servicio	N/A	7.3±0.2 a	9.5±0.2 a	10.4±0.2 a	9.1±1.8	22.01	<0.0001
Total leñosas	N/A	10.2±0.2 b	21.9±0.2 a	29.3±0.2 a	19.6±3.4	42.06	<0.0001
Musáceas	N/A	3.3±0.2 a	1.3±0.2 b	1±0.2 b	1.9±0.4	7.56	0.0011
Café	7.8±1.2 a	4.6±1.2 b	3.4±1.2 b	3.8±1.2 b	4.9±0.6	3.96	0.0206
Total	7.8±1.3 c	18.9±1.2 b	27.4±1.2 ab	35.3±1.2 a	26.5±3.3	9.63	0.0003

Diferentes letras a lo largo de las filas expresan diferencias entre los tipos de cafetales (LSD Fisher, p <0.05). *Mg* megagramo=1 tonelada métrica; *C1* café a pleno sol; *C2* café, musáceas y árboles de servicio; *C3* café, árboles de servicio y maderables; *C4* café, árboles de servicio, maderables, frutales y musáceas; *M* media, *EE* error estándar.

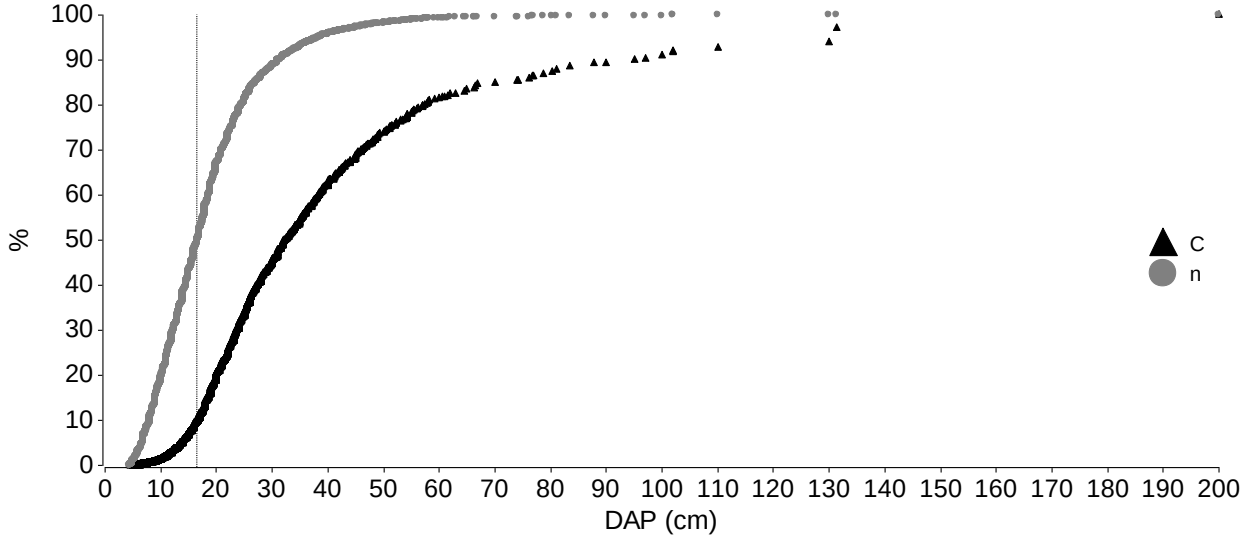

Figura 3. Distribución de frecuencia de diámetros de los árboles en relación con el carbono (C) almacenado y el número de individuos (n) en 23 cafetales de diferentes tipos en la zona centro norte de Nicaragua.

3.4. Rendimiento de productos agroforestales

Los productos agroforestales registrados fueron café, bananos, frutas, leña y madera en pie. El rendimiento de café promedio fue 31.3 qq oro ha^{-1} y solo existió diferencia significativa entre *C2* y *C4* (Cuadro 6); además se presentaron mayores varianzas de rendimientos en los sistemas *C1* y *C2*. Los bananos (*Musa acuminata* AAA) y otras frutas más abundantes estuvieron destinadas para la venta y autoconsumo, como *Citrus spp.*, *Mangifera indica*, *Persea americana* y *Theobroma cacao;* las menos comunes solo se utilizaron para el consumo doméstico, como *Annona muricata*, *Spondias purpurea*, *Byrsonima crassifolia, Averrhoa carambola*, *Syzygium malaccense Licania platypu y Morinda citrifolia*. La leña, exclusiva para autoconsumo, solo se obtuvo del 63% de los cafetales. También se registró el volumen y el valor de madera en pie de *Cordia alliodora*, *Cedrela odorata*, *Juglans olanchana* y *Terminalia oblonga*, entre otros.

Cuadro 6. Rendimientos de productos agroforestales en cuatro tipos de cafetales en la zona centro norte de Nicaragua.

Producto	Unidades	C1 M±EE	C2 M±EE	C3 M±EE	C4 M±EE	Promedio M±EE	*F*	*P*
Café	qq oro ha^{-1} $año^{-1}$	37.7±7.8 ab	38.8±5.9 a	28.8±3.4 ab	22.1±2.5 b	31.3±2.6	3.31	0.0378
Leña	m^3 ha^{-1} $año^{-1}$	N/A	1.1±0.3	0.4±0.2	1.9±0.7	1±0.3		
Bananos	kg ha^{-1} $año^{-1}$	N/A	664±115	972±395.6	1738±466.3	935.4±197		
Cítricos	unidad ha^{-1} $año^{-1}$	N/A	1815±1802	3264±2053.2	23411±17186.9	7574±4656.8		
Frutas	unidad ha^{-1} $año^{-1}$	N/A	36±35.7	524±385.1	3678±2210.1	1120±627.7		
VMP	m^3ha^{-1}	N/A	0.4±0.2	17.6±8.2	4.3±2.2	6.5±2.8		
ValMP	US$ ha^{-1}	N/A	42±30.2	1316±607.9	276±104.6	474±205.1		

Diferentes letras a lo largo de las filas expresan diferencias entre los tipos de cafetales (LSD Fisher, p <0.05). *C1* café a pleno sol; *C2* café, musáceas y árboles de servicio; *C3* café, árboles de servicio y maderables; *C4* café, árboles de servicio, maderables, frutales y musáceas; *M* media; *EE* error estándar; *qq* quintal (100 libras, 45.4 kg); *frutas* es la suma de las unidades de *Persea americana, Annona muricata, Spondias purpurea, Mangifera indica, Averrhoa carambola, Morinda citrifolia, Syzygium malaccense, Licania platypu, Byrsonima crassifolia; VMP* volumen de madera en pie; *ValMP* valor de madera en pie.

Cuadro 7. Indicadores económicos en cuatro tipos de cafetales en la zona centro norte de Nicaragua.

Indicador	Unidades	C1 M ± EE	C2 M ± EE	C3 M ± EE	C4 M ± EE	Promedio M ± EE	*F*	*P*
IBV	US$ ha^{-1} $año^{-1}$	4566±851.7 a	4199±602.3 a	3297±602.3 a	3075±643.9 a	3695±328.5	1.04	0.3947
CE	US$ ha^{-1} $año^{-1}$	1753±363.1 a	1393±256.7 a	1178±256.7 a	1188±274.5 a	1329±137.1	0.68	0.5742
FN	US$ ha^{-1} $año^{-1}$	2813±667.7 a	2806±472.1 a	2119±472.1 a	1887±504.7 a	2366±254.5	0.83	0.4906
CS	US$ ha^{-1} $año^{-1}$	54±68.3 b	693±291.7 a	271±89 ab	498±180.3 a	423±98	3.55	0.0302
IN	US$ ha^{-1} $año^{-1}$	2759±643.8 a	2113±455.2 a	1848±455.2 a	1389±486.6 a	1943±248.2	1.03	0.3979
VCD	US$ ha^{-1} $año^{-1}$	0±0c	170±42.6 b	142±39.1 b	654±202.2 a	262±67.2	6.41	0.0026
BF	US$ ha^{-1} $año^{-1}$	2813±738.3 a	2977±522.1 a	2262±522.1 a	2541±558.1 a	2628±273.2	0.34	0.7954
BFDT	US$ ha^{-1} $año^{-1}$	7.5±2.7 a	12±0.8 a	38±0.5 a	28±0.8 a	21±0.4	1.09	0.3741

Diferentes letras a lo largo de las filas expresan diferencias entre los tipos de cafetales (LSD Fisher, p <0.05). *C1* café a pleno sol; *C2* café, musáceas y árboles de servicio; *C3* café, árboles de servicio y maderables; *C4* café, árboles de servicio, maderables, frutales y musáceas; *M* media; *EE* error estándar; *IBV* ingreso bruto por ventas; *CE* costos en efectivo; *FN* flujo neto; *CS* costos en especie; *IN* ingreso neto; *IBA* ingreso bruto por autoconsumo; *BF* beneficios familiares; *BFDT* beneficios familiares por día de trabajo.

3.5. Contribución de los productos agroforestales a los indicadores económicos

Los cafetales no difirieron en todo lo relacionado con el dinero en efectivo y ahorro (ingresos brutos, costos en efectivo, flujo neto, ingreso neto, beneficios familiares y beneficios familiares por día de trabajo); únicamente difirieron en términos del uso de la mano de obra familiar (costo en especie) e ingresos brutos por autoconsumo (Cuadro 7). En todos los sistemas el café aportó los mayores valores económicos para flujo neto (Figura 4A), ingresos netos (Figura 4B) y beneficios familiares (Figura 4C) en relación con los otros productos agroforestales (PAF) juntos (bananos+frutas+leña). Los *C2* presentan ingresos netos negativos debido al alto empleo de mano de obra familiar (Figura 4B). Los *C4* percibieron menor ganancia por café, pero los PAF aportaron más que en otros tipos de cafetales debido a los elevados ingresos por autoconsumo (Figura 4C).

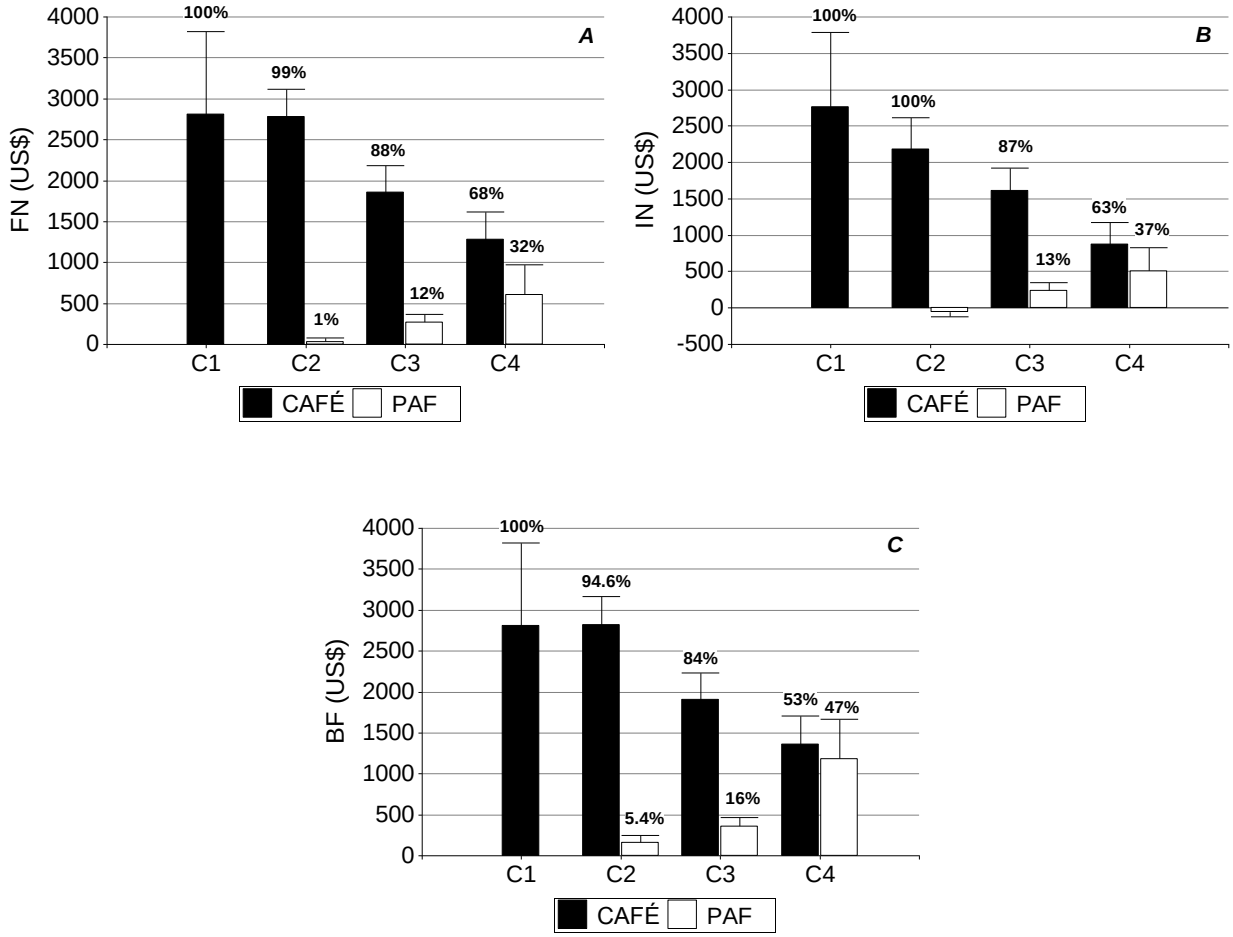

Figura 4. Contribución del café y otros productos agroforestales (PAF) al *A* flujo neto (FN), *B* ingreso neto (IN) y *C* beneficios familiares (BF) en cuatro tipos de cafetales en la zona centro norte de Nicaragua.

3.6. Compromisos entre carbono almacenado, rendimientos de café y beneficios familiares

Se encontró relación competitiva no significativa entre carbono y rendimientos de café. Vale destacar que entre 20-30 Mg C ha^{-1} se obtuvo un amplio rango de rendimientos (10-45 qq oro ha^{-1}). Por otro lado, la relación entre carbono y beneficios familiares fue positiva y significativa (Figura 5), donde las figuras representan los valores observados y las líneas los valores esperados; sin embargo hay que considerar la alta variación presente y que un R^2 más cercano a 1 significa mejor ajuste del modelo. Estos resultados permiten concluir que es posible obtener cafetales con importante contenido de carbono y altos beneficios familiares. Estas relaciones sinérgicas fueron más notorias en sistemas con mayor diversidad y densidad de especies en el dosel de sombra (*C4* y *C3*).

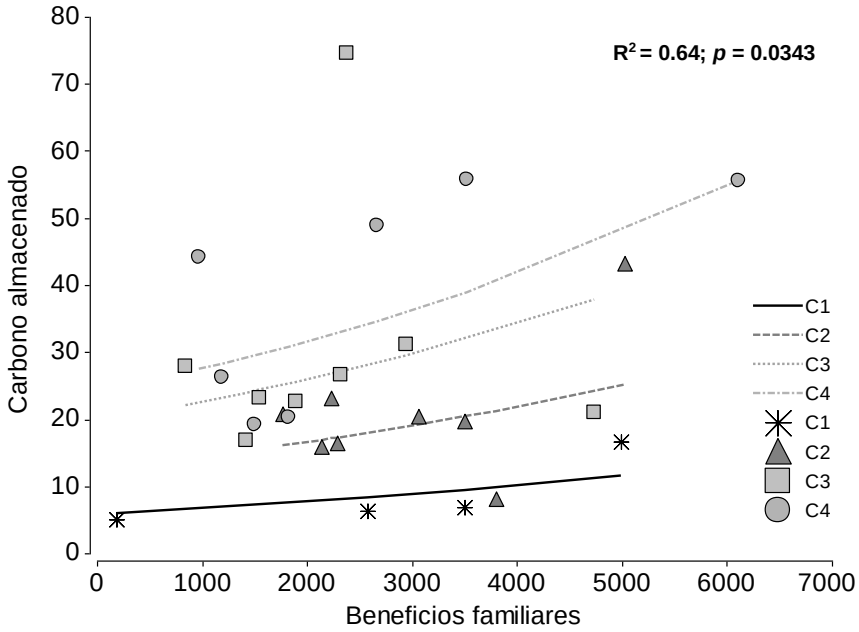

Figura 5. Relación sinérgica entre carbono almacenado (Mg ha^{-1}) y beneficios familiares (US$) en cuatro tipos de cafetales en la zona centro norte de Nicaragua.

3.7. Comparaciones biofísicas y económicas entre tipos de cafetales

Las variables biofísicas de estructura y composición botánica del dosel de sombra (densidad, área basal y riqueza de especies de plantas) tuvieron mayores diferencias entre los cuatro tipos de cafetales; por otro lado las variables económicas que incluyen dinero en efectivo (flujo neto, ingreso neto y costos en efectivo) fueron iguales entre todos los casos (Cuadro 8). Con base en este resultado y con el propósito de diseñar cafetales con sinergias entre los dos servicios ecosistémicos estudiados, se propone mantener una alta diversidad de especies de plantas de diferentes usos que generen productos para venta y autoconsumo, y una densidad media de leñosas de crecimiento rápido para obtener mayores áreas basales y así almacenar una importante cantidad de carbono en la biomasa aérea.

Cuadro 8. Diferencias entre pares de cafetales en estructura del dosel de sombra, rendimientos, indicadores económicos y carbono en biomasa aérea.

Variables	C1C2	C1C3	C1C4	C2C3	C2C4	C3C4
Área basal maderables						
Rendimiento cítricos						
Rendimiento frutas						
Volumen madera en pie						
Área basal musáceas						
Área basal frutales						
Densidad musáceas						
Densidad árboles servicio						
Densidad árboles frutales						
Densidad árboles maderables						
Riqueza total						
Riqueza frutales						
Riqueza maderables						
Rendimiento musáceas						
Rendimiento leña						
Valor autoconsumo						
Carbono frutales						
Carbono maderables						
Carbono musáceas						
Riqueza servicio						
Carbono total						
Área basal total dosel						
Área basal servicio						
Área basal café						
Densidad total dosel						
Carbono servicio						
Carbono café						
Área						
Costos especie						
Rendimiento café						
Densidad café						
Ingresos brutos venta						
Beneficios familiares						
Flujo neto						
Ingreso neto						
Costos efectivo						

Blanco: diferencias significativas; gris: sin diferencias.

4. Discusión

4.1. Diversidad botánica y densidades en cafetales

En Nicaragua los cafetales de pequeños productores poseen altos niveles de agrobiodiversidad (Méndez *et al.* 2007; Méndez *et al.* 2010). Los cafetales más comunes son tipo *policultivo comercial* (equivalentes a *C3* y *C4*) con árboles frutales, maderables, leguminosas fijadoras de nitrógeno y musáceas, que son manejados de forma convencional con fertilizantes y pesticidas (Van Rikxoort *et al.* 2014).

La riqueza de especies de árboles de 113 especies en 23 cafetales (4.9 especies/cafetal) es superior comparada con la riqueza en cafetales de República Dominicana, de 2.79 especies/parcela (Gross *et al.* 2014) y en El Salvador, 3.3 especies/parcela (Méndez *et al.* 2007). En cambio en Zona da Mata, Brasil la riqueza de especies fue el doble, se identificaron 87 especies de árboles en 8 cafetales (10.88 especies/parcela) (Souza *et al.* 2012). Estas comparaciones podrían estar sesgadas debido a las diferencias de las muestras en cantidad y tamaño.

Las densidades de árboles en los diferentes cafetales fue mayor conforme aumentaba la complejidad del agroecosistema, en concordancia con lo reportado por Van Rikxoort *et al.* (2014) en cafetales en Latinoamérica (México, Guatemala, El Salvador, Nicaragua y Colombia) con densidades promedio de árboles en *policultivo comercial* de 221 individuos ha^{-1} (rango 58-347) y los sistemas *policultivo tradicional* registraron hasta 433 árboles ha^{-1}. En Zona da Mata, Brasil, Souza *et al.* (2012) registraron en promedio 336 árboles ha^{-1} en cafetales con especies frutales e *Ingas spp.* y árboles nativos. La densidad de plantas de café no tuvo diferencia significativa entre sistemas, en cambio Van Rikxoort *et al.* (2014) encontraron diferencias significativas, con menor cantidad de cafetos en los sistemas menos tecnificados (4636 plantas ha^{-1}) y mayor densidad en los sistemas a pleno sol (6557 plantas ha^{-1}). En otras áreas cafetaleras las densidades son 50% menores, en Brasil 2400 plantas de café en promedio (Souza *et al.* 2012) al igual que en Uganda, donde Van Asten *et al.* (2011) reportaron densidades promedio de 2209 plantas ha^{-1} en monocultivo y 2253 plantas ha^{-1} en policultivo. En México son aún más bajas, 1985.1 plantas ha^{-1} en policultivo tradicional y 2684 plantas ha^{-1} en monocultivo de sombra (Peeters *et al.* 2003); esta baja densidad se debe posiblemente al mayor espaciamiento de siembra debido a la variedad utilizada.

4.2. Carbono almacenado en la biomasa aérea de los cafetales

El carbono almacenado en la biomasa aérea fue mayor en los sistemas más complejos (alta densidad y diversidad de árboles) y fue disminuyendo conforme se simplificaba el sistema; esto concuerda con la revisión hecha por Méndez *et al.* (2012) en diferentes tipos de cafetales a nivel mundial. El crecimiento de los árboles, por ende la cantidad de carbono almacenada en su biomasa, está influenciado directamente por las condiciones ecológicas del lugar: precipitación, temperatura, suelo, flora y fauna local (Somarriba *et al.* 2013). Eso puede explicar las diferencias entre el carbono almacenado por cafetales de un mismo tipo en diferentes lugares; sin embargo, siempre se presenta la tendencia de más carbono almacenado con mayor biodiversidad. Por ejemplo, en Madriz, Nicaragua, cafetales de *policultivo tradicional* almacenaron en la biomasa aérea del dosel de sombra en promedio 41 Mg ha^{-1} y un *policultivo comercial* 16 Mg C ha^{-1} (Rahn *et al.* 2013). Otros cafetales de Latinoamérica almacenaron en promedio en biomasa aérea y debajo del suelo

10.5 Mg C ha^{-1} a *pleno sol*, en *sombra de monocultivo* 14.3 Mg C ha^{-1}, en *policultivo comercial* 30.2 Mg C ha^{-1} y en *policultivo tradicional* 42.5 Mg C ha^{-1} (Van Rikxoort *et al.* 2014).

Otro aspecto importante que se debe tener en consideración es el dap de los árboles, Schroth *et al.* (2013); Schroth *et al.* (2014) sugieren que los árboles "grandes" representan el C almacenado en todo el sistema; como encontraron en Brasil en cacaotales cabrucas (equivalente al café *rústico*) que en diámetros menores a 30cm solo se almacenó el 10% de C. Los cafetales evaluados tuvieron el 10% del carbono almacenado en árboles con diámetro ≤16.5cm, que correspondió al 50% de la población. Tomar en cuenta esta relación entre el dap, la cantidad de árboles y el porcentaje de carbono almacenado permitirá hacer inventarios agroforestales más eficientes en la zona de Matagalpa y Jinotega para no agotar recursos midiendo tantos árboles que contienen poco C de la biomasa aérea.

Por el potencial para capturar carbono que tienen los cafetales, se podrían incluir en los programas de forestación/reforestación de los mecanismos de desarrollo limpio (MDL) (Verchot *et al.* 2007), asimismo en las discusiones de REDD+ y en otros programas de incentivos relacionados (Schroth *et al.* 2013). También deberían desarrollarse políticas relacionadas con la adaptación al CC e incluir incentivos, seguros o pagos por servicios ambientales (Läderach *et al.* 2010) e identificar los compradores potenciales de esos SE (Castro *et al.* 2013). Igualmente se pueden considerar otra clase de beneficios "no monetarios", como asistencia técnica relacionada con mitigación y adaptación al CC, producción agroecológica de cafetales y diversificación de medios de vida (Méndez *et al.* 2012; Rahn *et al.* 2013).

4.3. Rendimientos y beneficios familiares de productos agroforestales

Los ingresos generados por la caficultura son de vital importancia para miles de familias, y para obtener otros beneficios económicos de esta actividad los productores diversifican sus cafetales con el uso de árboles frutales y maderables de alto valor comercial (Haggar *et al.* 2011; Van Rikxoort *et al.* 2014). De las plantas asociadas al café se obtuvieron varios productos, los mismos que se encontraron en Madriz, Nicaragua: madera, frutas y leña (Rahn *et al.* 2013); en cambio, en Chiapas, México, los cafetales también proveen otros productos (30%) como forrajes, materiales para manualidades, medicinales, gomas, condimentos y plantas ornamentales (Soto-Pinto *et al.* 2000). Esta mayor obtención de productos en Chiapas puede deberse a la gran cantidad de especies nativas (88.5%) que tenían, además de estar ubicados en zona indígena donde los habitantes tienen más conocimientos ancestrales sobre el uso de los diferentes tipos de árboles.

El rendimiento de café (en promedio 31.3 qq oro ha^{-1}) en todos los tipos de cafetales fue mayor que el rendimiento nacional promedio de Nicaragua (17 qq oro ha^{-1} rango de 6-57) (MAGFOR 2013). Esto puede relacionarse al uso de insumos sintéticos 1 o 2 veces (o más en el caso de fungicidas) al año dependiendo de las posibilidades económicas, y en 96% de los cafetales aplicaban fertilizantes, fungicidas (85%), herbicidas (78%) e insecticidas o trampas para broca (52%). Además, el rendimiento de café presentó mayor variación en los sistemas con poca sombra y pleno sol, esto pudo deberse a que la producción bienal de café en esa clase de sistemas es más marcada (DaMatta 2004; DaMatta 2007).

Los productos agroforestales provenientes de los cafetales suplen buena parte de las necesidades básicas de las familias, son usados para el consumo doméstico y generan ingresos por ventas (Bacon 2005; Méndez 2008; Méndez *et al.* 2010). Muchas familias emprendedoras quieren sacar mayor provecho a sus cafetales y comercializan una gran gama de frutas por la alta diversidad de plantas que tienen, sin saturar el mercado con un solo producto. Para mejorar esta fuente de ingreso extra se deben optimizar los canales de distribución, porque muchos cafetales están muy distantes de los mercados, otra opción sería dar valor agregado a los productos, para reducir la pérdida de frutas y bananos que es alta y no fue cuantificada en esta investigación. Otro producto importante es la madera, y a pesar de que su extracción fue nula, el valor de la madera en pie es crucial para las familias porque representa una cuenta de ahorro que puede ser utilizada cuando se presente alguna emergencia económica. Por eso es bueno promover el uso de árboles maderables de gran valor comercial, especies como *Cordia alliodora* y *Cedrela odorata* que se consideran "neutrales" (ni benefician ni perjudican) a las plantas de café y que muchas veces provienen de regeneración natural sin gasto de mano de obra (Albertin y Nair 2004). Además al momento de cosechar la madera son pocos los daños a las plantas de café y las ganancias generadas pueden compensarlos (Somarriba 1990, 1992).

En cuanto a los indicadores económicos, Cerda *et al.* (2014) hicieron un estudio similar evaluando el flujo neto (FN), ingresos netos (IN) y beneficios familiares (BF) en tres tipos de cacaotales de Centroamérica. Al igual que este estudio la mayor contribución fue hecha por el producto principal (cacao y café) y en menor proporción por los otros productos agroforestales (PAF). En flujo neto el cacao aporta más, pero en beneficios familiares los PAF en conjunto aportan igual que el cacao. En los cafetales al igual que en los cacaotales, el FN fue positivo en todos los casos; el IN en los cafetales solo presentó un caso negativo en los PAF, en cambio en los cacaotales fueron negativos en dos tipologías tanto por cacao como otros productos agroforestales, debido al alto costo en especie (mano de obra familiar). Los beneficios familiares de los PAF fueron menores al café, en el caso de los cacaotales fue al contrario, todas las tipologías obtuvieron más beneficios familiares por parte de los PAF que del cacao, es decir, hay mucha producción y autoconsumo de productos obtenidos de las plantas asociadas. Tanto en cafetales como cacaotales, dependiendo del tipo de cafetal, las plantas del dosel de sombra generan ingresos modestos y tienen cierta importancia en el consumo doméstico, contribuyen así al ahorro familiar y seguridad alimentaria (Cerda *et al.* 2014).

Aunque no existieron diferencias significativas en FN, IN y BF entre los cuatro tipos de cafetales evaluados, hay que considerar que en términos monetarios es una cantidad importante la que varía entre sistemas. Entonces en este caso particular sería importante mirar más allá de las diferencias estadísticas y entrar en el contexto de las necesidades económicas y preferencias de las familias, factores que podrían ser determinantes al momento de elegir un sistema de producción (con mayor o menor diversidad en el dosel de sombra) y las prácticas asociadas a este. Por otro lado, muchas familias no son conscientes del valor económico en forma de ahorro que tiene el autoconsumo de productos del cafetal, como frutas y leña, que suplen sus necesidades de alimentación y energía, que en esta investigación se monetizó en forma de valor por consumo doméstico (VCD) y vimos su importancia como BF. Asimismo, el beneficio familiar por día de

trabajo que no difiere entre los sistemas, pero que en los cafetales con sombra en términos monetarios resultaría mejor para los productores quedarse trabajando en el propio cafetal que trabajar en otras fincas, porque el pago promedio por el día de trabajo fuera es menor. Por lo tanto, son valiosas las actividades realizadas por los miembros de las familias en los cafetales tanto de aprovechamiento de bienes como de inversión de mano de obra, que a pesar de no ser percibidos como dinero en efectivo tienen un rol importante en los beneficios familiares.

4.4. Compromisos entre carbono y beneficios familiares

Se han reportado relaciones entre biodiversidad de árboles y carbono almacenado en cafetales (Henry *et al.* 2009; Richards y Méndez 2014), pero no hay evidencia sobre relaciones entre los productos que provee esa biodiversidad de árboles en términos económicos y el carbono que contienen. Esta investigación muestra que es posible obtener sinergias de dos servicios ecosistémicos que brindan los árboles, ya que pueden almacenar cantidades importantes de carbono y al mismo tiempo generar ganancias (por venta y autoconsumo) de otros productos agroforestales, lo cual es más evidente al aumentar la complejidad del cafetal. Verchot *et al.* (2007) mostraron las relaciones entre C almacenado y rentabilidad en cacaotales de Camerún y reportó que los sistemas que tuvieron ganancias altas fueron cacaotales intensivos con frutales, cacaotales intensivos y cacaotales extensivos con frutales; los cacaotales extensivos tuvieron baja rentabilidad y todos con almacenamiento medio de carbono. Por lo tanto, cafetales bajo sombra más diversificada y con manejo intensivo tienen mayor potencial como sumidero de carbono y al mismo tiempo generan mayores recursos económicos.

4.5. Diseño de cafetales frente al cambio climático

Uno de los retos actuales de la caficultura en la región latinoamericana es desarrollar nuevos modelos de producción que reduzcan costos y pérdidas, e incrementen su capacidad para la adaptación y mitigación al cambio climático. Por lo tanto, el diseño de un cafetal ideal debe enfocarse en conservar o incrementar la biodiversidad de árboles y otras plantas del dosel de sombra y con esto aumentar los SE para beneficio de la finca, los medios de vida de la familia y la comunidad en general (Rahn *et al.* 2013; Jha *et al.* 2014). Además se debe considerar los objetivos del productor, condiciones del sitio (suelo y clima), adaptabilidad de las especies en la región (Morais *et al.* 2006; Somarriba *et al.* 2014), balancear los rendimientos de café, aprovechar los bienes y servicios de las plantas asociadas (Méndez 2008) y reducir el ataque de plagas y enfermedades (Teodoro *et al.* 2009).

Con base en los hallazgos de este estudio y en la literatura técnica y científica, el diseño de un cafetal apto para enfrentar el cambio climático, incrementar el suministro de productos agroforestales para venta y autoconsumo, capturar carbono y generar otros SE debería incluir: densidad de café alrededor de 5000 plantas/ha; alta diversidad en el dosel de sombra con plantas multipropósito incluyendo musáceas, árboles de servicio fijadores de nitrógeno, árboles y/o palmas frutales y maderables; densidad media entre 150-200 árboles/ha con mayor proporción de maderables y leguminosas de rápido crecimiento, seguido por frutales y musáceas en un arreglo ordenado dentro de la parcela. Para poder lograr altos niveles de carbono sin afectar los rendimientos del cultivo principal, estas plantas acompañantes deben tener características

deseables: árboles altos, con tallo cilíndrico y grueso; copas pequeñas, ralas, con hojas pequeñas; sistema radicular profundo, largo y grueso; crecimiento rápido, con madera densa y alta producción de biomasa y otros productos (Somarriba *et al.* 2013). En cuanto al manejo agroforestal del dosel, se debe incluir las podas diferenciadas por especie de planta para mantener la sombra entre 30-45% sin afectar los rendimientos de café (Soto-Pinto *et al.* 2000) y favorecer el crecimiento del controlador biológico *Lecanicilium lecanii* de *Hemileia vastatrix* (roya anaranjada) (Avelino y Rivas 2013). Este tipo de diseño y manejo crearía más resiliencia ecológica y económica que contribuirán a mejorar los medios de vida de las familias caficultoras.

5. Conclusión

Los cafetales en la zona centro norte de Nicaragua poseen gran diversidad de plantas asociadas, las más comunes son los árboles de servicio (*Inga spp.*), frutales (*Citrus spp.*), maderables (*Cedrela odorata* y *Cordia alliodora*), y musáceas (*Musa acuminata* AAA). El carbono almacenado en la biomasa aérea fue mayor en los sistemas más diversos y estuvo contenido en las especies leñosas del dosel de sombra. Los productos agroforestales (café, musáceas, frutas, y leña) generan indicadores económicos positivos para todos los tipos de cafetales. El café es el producto que brinda más beneficios en todos los tipos de cafetales, comparado con la contribución de los otros productos agroforestales. Sin embargo, en los cafetales agroforestales, la contribución conjunta de bananos, frutas y leña sumada a la contribución del café permite igualar a los beneficios totales obtenidos en cafetales a pleno sol, con la ventaja de que los cafetales con sombra pueden proveer más SE. Los SAF con café más diversos con una combinación de musáceas, árboles de servicio, maderables y frutales en el dosel son los que pueden lograr sinergias entre servicios como la captura de C y provisión de productos agroforestales, y se consideran en este estudio como los más adecuados para pequeños y medianos productores con miras a enfrentar el cambio climático.

Agradecimientos

Muchas gracias a las familias caficultoras que me permitieron hacer el estudio en sus parcelas y compartieron sus experiencias; al personal técnico y facilitadores de MAP-Noruega en el territorio Nicacentral por su apoyo incondicional, especialmente a Mirna Barrios; a los asistentes de campo Elvin Navarrete, José Menéndez, Nelson Quinteros y Antonio Navarrete por su valiosa ayuda en la toma de datos; a Sergio Vílchez de la Unidad de Biometría de CATIE por su colaboración en el análisis de datos; a Christian Brenes por la elaboración del mapa de ubicación del estudio. Por último, pero no menos importante, mi total agradecimiento a Eduardo Somarriba, Rolando Cerda, Amilcar Aguilar y Leida Mercado por sus excelentes sugerencias para el desarrollo de esta investigación y por la revisión del manuscrito. Este trabajo fue financiado por CATIE/MAP-Noruega y FTA/CATIE.

Referencias

Aguilar, A.; Guharay, F. 2009. Cómo realizar un diagnóstico productivo en nuestro cafetal. Managua, NI, CATIE. 23 p. (Serie Cuadernos de Campo)

Albertin, A.; Nair, P.K.R. 2004. Farmers' Perspectives on the Role of Shade Trees in Coffee Production Systems: An Assessment from the Nicoya Peninsula, Costa Rica. Human Ecology 32(4): 443-463.

Andrade, H.J.; Segura, M.; Somarriba, E.; Villalobos, M. 2008. Valoración biofísica y financiera de la fijación de carbono por uso del suelo en fincas cacaoteras indígenas de Talamanca, Costa Rica. Agroforestería en las Américas (46): 45-50.

Avelino, J.; Rivas, G. 2013. La roya anaranjada del cafeto. Consultado 5 de noviembre de 2014. Disponible en: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01071036.

Bacon, C. 2005. Confronting the Coffee Crisis: Can Fair Trade, Organic, and Specialty Coffees Reduce Small-Scale Farmer Vulnerability in Northern Nicaragua? World Development 33(3): 497-511.

Beer, J. 1987. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. Agroforestry Systems 5(1): 3-13.

Beer, J.; Muschler, R.; Kass, D.; Somarriba, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. Agroforestry Systems (38): 139-164.

Brown, S.; Iverson, L.R. 1992. Biomass estimates for tropical forest. World Res. Rev. 4(3): 366-383.

Carnell, R. 2013. Package 'triangle'. Version 0.8

Castro, M.; Calvas, B.; Hildebrandt, P.; Knoke, T. 2013. Avoiding the loss of shade coffee plantations: how to derive conservation payments for risk-averse land-users. Agroforestry Systems 87: 331-347.

Cerda, R.; Deheuvels, O.; Calvache, D.; Niehaus, L.; Saenz, Y.; Kent, J.; Vilchez, S.; Villota, A.; Martinez, C.; Somarriba, E. 2014. Contribution of cocoa agroforestry systems to family income and domestic consumption: looking toward intensification. Agroforestry Systems: 1-25.

Chapin, F.S.; Carpenter, S.R.; Kofinas, G.P.; Folke, C.; Abel, N.; Clark, W.C.; Olsson, P.; Smith, D.M.S.; Walker, B.; Young, O.R.; Berkes, F.; Biggs, R.; Grove, J.M.; Naylor, R.L.; Pinkerton, E.; Steffen, W.; Swanson, F.J. 2010. Ecosystem stewardship: sustainability strategies for a rapidly changing planet. Trends in Ecology & Evolution 25(4): 241-249.

DaMatta, F.M. 2004. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. Field Crops Research 86(2–3): 99-114.

DaMatta, F.M.; Ronchi, C.P.; Maestri, M.; Barros, R.S. 2007. Ecophysiology of coffee growth and production. Brazilian Journal of Plant Physiology 19: 485-510.

Detlefsen, G.; Marmillod, D.; Scheelje, M.; Ibrahim, M. 2012. Protocolo para la instalación de parcelas permanentes de medición de la producción maderable en sistemas agroforestales de Centroamérica. Turrialba, CR, CATIE. 19 p. (Serie técnica. Manual técnico/CATIE; n° 107).

Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.; Gonzalez, L.; Tablada, M.; Robledo, C.W. 2013. Infostat versión 2012. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, IT). 2013. Climate-Smart Agriculture Sourcebook. IT, 557 p.

Gockowski, J.; Nkamleu, G.B.; Wendt, J. 2001. Implications of resource-use intensification for the environment and sustainable technology systems in the central African rainforest. *In* Lee,

D.R.; Barrett, C.B. eds. 2001. Tradeoffs or synergies? Agricultural intensification, economic development and the environment. Wallingford, CABI Publishing. p. 197-219.

Gross, L.H.; Erickson, J.D.; Méndez, V.E. 2014. Supporting Rural Livelihoods and Ecosystem Services Conservation in the Pico Duarte Coffee Region of the Dominican Republic. Agroecology and Sustainable Food Systems 38(9): 1078-1107.

Haggar, J.; Barrios, M.; Bolaños, M.; Merlo, M.; Moraga, P.; Munguia, R.; Ponce, A.; Romero, S.; Soto, G.; Staver, C.; de M. F. Virginio, E. 2011. Coffee agroecosystem performance under full sun, shade, conventional and organic management regimes in Central America. Agroforestry Systems 82(3): 285-301.

Hammer, O.; Harper, D.A.T.; Ryan, P.D. 2006. PAST (Palaenontological Statistics). Version 1.38

Harvey, C.A.; Chacón, M.; Donatti, C.I.; Garen, E.; Hannah, L.; Andrade, A.; Bede, L.; Brown, D.; Calle, A.; Chará, J. 2014. Climate-Smart Landscapes: Opportunities and Challenges for Integrating Adaptation and Mitigation in Tropical Agriculture. Conservation Letters 7(2): 77-90.

Henry, M.; Tittonell, P.; Manlay, R.J.; Bernoux, M.; Albrecht, A.; Vanlauwe, B. 2009. Biodiversity, carbon stocks and sequestration potential in aboveground biomass in smallholder farming systems of western Kenya. Agriculture, Ecosystems & Environment 129(1–3): 238-252.

Jha, S.; Bacon, C.M.; Philpott, S.M.; Rice, R.A.; Méndez, V.E.; Läderach, P. 2011. A Review of Ecosystem Services, Farmer Livelihoods, and Value Chains in Shade Coffee Agroecosystems. *In* Campbell, W.B.; Lopez Ortiz, S. eds. 2011. Integrating Agriculture, Conservation and Ecotourism: Examples from the Field. Springer Netherlands. p. 141-208.

Jha, S.; Bacon, C.M.; Philpott, S.M.; Ernesto Méndez, V.; Läderach, P.; Rice, R.A. 2014. Shade Coffee: Update on a Disappearing Refuge for Biodiversity. BioScience 64(5): 416-428.

Kirby, K.R.; Potvin, C. 2007. Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. Forest Ecology and Management 246(2–3): 208-221.

Läderach, P.; Haggar, J.; Lau, C.; Eitzinger, A.; Ovalle, O.; Baca, M.; Jarvis, A.; Lundy, M. 2010. Mesoamerican coffee: Building a climate change adaptation strategy. CIAT Policy Brief no. 2.Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 4 p.

Läderach, P.; Lundy, M.; Jarvis, A.; Ramirez, J.; Portilla, E.; Schepp, K.; Eitzinger, A. 2011. Predicted Impact of Climate Change on Coffee Supply Chains. *In* Leal Filho, W. ed. 2011. The Economic, Social and Political Elements of Climate Change. Springer Berlin Heidelberg. p. 703-723. (Climate Change Management).

Leakey, R.R.B.; Tchoundjeu, Z.; Schreckenberg, K.; Shackleton, S.E.; Shackleton, C.M. 2005. Agroforestry Tree Products (AFTPs): Targeting Poverty Reduction and Enhanced Livelihoods. International Journal of Agricultural Sustainability 3(1): 1-23.

Lin, B.B. 2007. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. Agricultural and Forest Meteorology 144(1–2): 85-94.

Lin, B.B.; Perfecto, I.; Vandermeer, J. 2008. Synergies between Agricultural Intensification and Climate Change Could Create Surprising Vulnerabilities for Crops. BioScience 58(9): 847-854.

Lin, B.B. 2011. Resilience in agriculture through crop diversification: adaptive management for environmental change. BioScience 61(3): 183-193.

MAGFOR (Ministerio Agropecuario y Forestal, Nicaragua). 2013. El café en Nicaragua. Managua, NI. Consultado 11 de octubre de 2014. Disponible en: http://www.magfor.gob.ni/descargas/publicaciones/cafecacao/cafenicaragua.pdf.

Mbow, C.; Smith, P.; Skole, D.; Duguma, L.; Bustamante, M. 2014. Achieving mitigation and adaptation to climate change through sustainable agroforestry practices in Africa. Current Opinion in Environmental Sustainability 6(0): 8-14.

Méndez, E.; Castro-Tanzi, S.; Goodall, K.; Morris, K.S.; Bacon, C.; Läderach, P.; Morris, W.B.; Georgeoglou-Laxalde, M.U. 2012. Livelihood and environmental trade-offs of climate mitigation in smallholder coffee agroforestry systems. *In* Wollenberg, E.; Nihart, A.; Tapio-Bistrom, M.-L.; Grieg-Gran, M. eds. 2012. Climate change, mitigation and agriculture. New York, p. 370-381.

Méndez, V.E.; Gliessman, S.R.; Gilbert, G.S. 2007. Tree biodiversity in farmer cooperatives of a shade coffee landscape in western El Salvador. Agriculture, Ecosystems & Environment 119(1–2): 145-159.

Méndez, V.E. 2008. Farmers' Livelihoods and Biodiversity Conservation in a Coffee Landscape of El Salvador. *In* Bacon, C.M.; Méndez, V.E.; Gliessman, S.R.; Goodman, D.; Fox, J.A. eds. 2008. Confronting the coffee crisis: Fair Trade, sustainable livelihoods and ecosystems in Mexico and Central America., IT Press: Cambridge, U.S.A. p. 207-236.

Méndez, V.E.; Bacon, C.M.; Olson, M.; Morris, K.S.; Shattuck, A. 2010. Agrobiodiversity and Shade Coffee Smallholder Livelihoods: A Review and Synthesis of Ten Years of Research in Central America. The Professional Geographer 62(3): 357-376.

Méndez, V.E.; Bacon, C.M.; Olson, M.B.; Morris, K.S.; Shattuck, A. 2013. Conservación de agrobiodiversidad y medios de vida en cooperativas de café bajo sombra en Centroamérica. Revista Ecosistemas 22(1): 16-24.

Morais, H.; Caramori, P.H.; Ribeiro, A.M.d.A.; Gomes, J.C.; Koguishi, M.S. 2006. Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeon pea in Southern Brazil. Pesquisa Agropecuária Brasileira 41: 763-770.

Oksanen, J.; Blanchet, F.G.; Kindt, R.; Legendre, P.; Minchin, P.R.; O´Hara, R.B.; Simpson, G.L.; Solymos, P.; Stevens, M.H.H.; Wagner, H. 2013. Community ecology package. Version 2.0-10

Peeters, L.Y.K.; Soto-Pinto, L.; Perales, H.; Montoya, G.; Ishiki, M. 2003. Coffee production, timber, and firewood in traditional and Inga-shaded plantations in Southern Mexico. Agriculture, Ecosystems & Environment 95(2–3): 481-493.

Perfecto, I.; Armbrecht, I.; Philpott, S.; Soto Pinto, L.; Dietsch, T. 2007. Shaded coffee and stability of rainforest marging in northern Latin America. *In* Tscharntke, T.; Leuschner, C.; Zeller, M.; Guhardja, E.; Bidin, A. eds. 2007. The stability of tropical rainforest margins, linking ecological, economic and social constraints of land use and conservation. Berlin, p. 227-263.

R Development Core Team. 2008. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, AU. Disponible en www.R-project.org

Rahn, E.; Läderach, P.; Baca, M.; Cressy, C.; Schroth, G.; Malin, D.; van Rikxoort, H.; Shriver, J. 2013. Climate change adaptation, mitigation and livelihood benefits in coffee production: where are the synergies? Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change: 1-19.

Rice, R.A. 2008. Agricultural intensification within agroforestry: The case of coffee and wood products. Agriculture, Ecosystems and Environment 128: 212-218.

_____. 2011. Fruits from shade trees in coffee: how important are they? Agroforestry Systems 83(1): 41-49.

Richards, M.B.; Méndez, V.E. 2014. Interactions between Carbon Sequestration and Shade Tree Diversity in a Smallholder Coffee Cooperative in El Salvador. Conservation Biology 28(2): 489-497.

Schroth, G.; Läderach, P.; Dempewolf, J.; Philpott, S.; Haggar, J.; Eakin, H.; Castillejos, T.; Moreno, J.G.; Pinto, L.S.; Hernandez, R. 2009. Towards a climate change adaptation strategy for coffee communities and ecosystems in the Sierra Madre de Chiapas, Mexico. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 14(7): 605-625.

Schroth, G.; Bede, L.; Paiva, A.; Cassano, C.; Amorim, A.; Faria, D.; Mariano-Neto, E.; Martini, A.Z.; Sambuichi, R.R.; Lôbo, R. 2013. Contribution of agroforests to landscape carbon storage. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change: 1-16.

Schroth, G.; Jeusset, A.; Gomes, A.S.; Florence, C.; Coelho, N.; Faria, D.; Läderach, P. 2014. Climate friendliness of cocoa agroforests is compatible with productivity increase. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change: 1-14.

Segura, M.; Kanninen, M.; Suárez, D. 2006. Allometric models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. Agroforestry Systems 68(2): 143-150.

Shibli, C. 2001. Percepciones de familias productoras sobre el uso y manejo de sistemas agroforestales con café, en el norte de Nicaragua. Agroforestería en las Américas 8(29).

Snowdon, P.; Raison, J.; Keith, H.; Ritson, P.; Grierson, P.; Adams, M.; Montagu, K.; Bi, H.-q.; Burrows, W.; Eamus, D. 2002. Protocol for Sampling Tree and Stand Biomass. Australia, 66 p. (National Carbon Accounting System Technical Report No. 31)

Somarriba, E. 1990. Sustainable timber production from uneven-aged shade stands of Cordia alliodora in small coffee farms. Agroforestry Systems 10(3): 253-263.

_____. 1992. Timber harvest, damage to crop plants and yield reduction in two Costa Rican coffee plantations with Cordia alliodora shade trees. Agroforestry Systems 18: 69-82.

_____. 2002. Estimación visual de la sombra en cacaotales y cafetales. Agroforestería en las Américas 9(35-36): 86-94.

Somarriba, E.; Harvey, C.A.; Samper, M.; Anthony, F.; González, J.; Staver, C.; Rice, R.A. 2004. Biodiversity conservation in neotropical coffee (Coffea arabica) plantations. *In* G, S.; GAB, F.; HarveyCA. eds. 2004. Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes. Island Press, Washington, DC. p. 198-226.

Somarriba, E.; Cerda, R.; Orozco, L.; Cifuentes, M.; Dávila, H.; Espin, T.; Mavisoy, H.; Ávila, G.; Alvarado, E.; Poveda, V.; Astorga, C.; Say, E.; Deheuvels, O. 2013. Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. Agriculture, Ecosystems and Environment (173): 46– 57.

Somarriba, E.; Suárez-Islas, A.; Calero-Borge, W.; Villota, A.; Castillo, C.; Vílchez, S.; Deheuvels, O.; Cerda, R. 2014. Cocoa–timber agroforestry systems: Theobroma cacao–Cordia alliodora in Central America. Agroforestry Systems: 1-19.

Soto-Pinto, L.; Perfecto, I.; Castillo-Hernandez, J.; Caballero-Nieto, J. 2000. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico. Agriculture, Ecosystems & Environment 80(1–2): 61-69.

Soto-Pinto, L.; Anzueto, M.; Mendoza, J.; Ferrer, G.; Jong, B. 2010. Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico. Agroforestry Systems 78(1): 39-51.

Souza, H.N.; de Goede, R.G.M.; Brussaard, L.; Cardoso, I.M.; Duarte, E.M.G.; Fernandes, R.B.A.; Gomes, L.C.; Pulleman, M.M. 2012. Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the Atlantic Rainforest biome. Agriculture, Ecosystems & Environment 146(1): 179-196.

Szott, L.; Arévalo-López, L.; Pérez, J. 1993. Allometric relationships in Pijuayo (*Bactris gasipaes* H.B.K.). *In* Mora-Urpí, J.; Szott, L.; Murillo, M.; Patiño, V. eds. 1993. Congreso

Internacional sobre Biología, Agronomía e Industrialización del Pijuayo San José, Costa Rica, p. 91-114.
Teodoro, A.; Klein, A.M.; Reis, P.R.; Tscharntke, T. 2009. Agroforestry management affects coffee pests contingent on season and developmental stage. Agricultural and Forest Entomology 11(3): 295-300.
Toledo, V.M.; Moguel, P. 2012. Coffee and Sustainability: The Multiple Values of Traditional Shaded Coffee. Journal of Sustainable Agriculture 36(3): 353-377.
Tscharntke, T.; Clough, Y.; Bhagwat, S.A.; Buchori, D.; Faust, H.; Hertel, D.; Hölscher, D.; Juhrbandt, J.; Kessler, M.; Perfecto, I.; Scherber, C.; Schroth, G.; Veldkamp, E.; Wanger, T.C. 2011. Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes – a review. Journal of Applied Ecology 48(3): 619-629.
van Asten, P.J.A.; Wairegi, L.W.I.; Mukasa, D.; Uringi, N.O. 2011. Agronomic and economic benefits of coffee–banana intercropping in Uganda's smallholder farming systems. Agricultural Systems 104(4): 326-334.
van Noordwijk, M.; Rahayu, S.; Hairiah, K.; Y.C.Wulan; Farida, A.; Verbist, B. 2002. Carbon stock assessment for a forest-to-coffee conversion landscape in Sumber-Jaya (Lampung, Indonesia): from allometric equations to land use change analysis. Science in China Series C-Life Sciences 45: 75-86.
van Rikxoort, H.; Schroth, G.; Läderach, P.; Rodríguez-Sánchez, B. 2014. Carbon footprints and carbon stocks reveal climate-friendly coffee production. Agronomy for Sustainable Development 34(4): 887-897.
Verchot, L.; Noordwijk, M.; Kandji, S.; Tomich, T.; Ong, C.; Albrecht, A.; Mackensen, J.; Bantilan, C.; Anupama, K.V.; Palm, C. 2007. Climate change: linking adaptation and mitigation through agroforestry. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 12(5): 901-918.

Anexo 1. Especies de leñosas usadas en tres tipos de cafetales agroforestales en la zona centro norte de Nicaragua.

Nombre científico	Frecuencia relativa	Abundancia relativa	Uso Principal	TIPOS		
				C2	C3	C4
Inga oerstediana Benth.	91.3	20.25	S	1	1	1
Citrus sinensis (L.) Osbeck	82.6	6.29	F	1	1	1
Inga punctata Willd.	69.6	15.41	S	1	1	1
Cedrela odorata L.	60.9	1.7	M	1	1	1
Cordia alliodora (Ruiz & Pav.) Oken	56.5	5.64	M	1	1	1
Mangifera indica L.	56.5	2.35	F	1	1	1
Persea americana Mill.	56.5	1.17	F	1	1	1
Citrus sp.	52.2	0.58	F	1	1	1
Psidium guajava L.	47.8	0.77	L	1	1	1
Juglans olanchana Standl & L.O. Williams	43.5	1.31	M	1	1	1
Syzygium malaccense Merr. & L.M. Perry	43.5	0.49	F	0	1	1
Citrus reticulata Blanco	39.1	1.02	F	1	1	1
Senna siamea (Lam.) H.S.Irwin & Barneby	39.1	0.89	S	0	1	1
Tabebuia rosea (Beltol.) Bertero ex A. DC.	39.1	1	M	0	1	1
Cinnamomum costaricanum (Mez & Pittier) Kosterm.	34.8	0.73	M	0	1	1
Gliricidia sepium (Jacq.) Walp.	34.8	0.95	S	0	1	1
Trichilia hirta L.	34.8	0.55	S	1	1	1
Acrocarpus fraxinifolius Arn.	30.4	9.85	M	1	1	1
Spondias purpurea L.	30.4	1	F	1	1	1
Inga jinicuil Schltdl.	26.1	0.18	S	0	1	1
Swietenia sp.	26.1	3.3	M	0	1	1
Theobroma cacao L.	26.1	4.03	F	0	1	1
Annona muricata L.	21.7	0.4	F	0	1	1
Byrsonima crassifolia (L.) Kunth	21.7	0.24	F	1	1	1
Cecropia peltata L.	21.7	0.31	S	1	1	1
Erythrina berteroana Urb.	21.7	0.33	S	1	1	1
Heliocarpus appendiculatus Turcz.	21.7	0.33	S	1	1	1
Lysiloma sp.	21.7	0.15	S	0	1	1
Brosimum alicastrum Sw.	17.4	0.31	M	0	1	1
Ceiba pentandra (L.) Gaertn.	17.4	0.18	M	0	1	1
Guazuma ulmifolia Lam.	17.4	0.84	S	0	1	1
Inga sp.	17.4	0.29	S	0	1	1
Inga sp.	17.4	3.56	S	1	1	0
Lonchocarpus minimiflorus Donn. Sm.	17.4	0.44	S	1	1	0
Nectandra reticulata Mez	17.4	0.44	M	0	1	1
NI	17.4	0.09	M	1	1	1
Spathodea campanulata P.Beauv.	17.4	0.11	S	1	1	1
Terminalia oblonga (Ruiz & Pav.) Steud.	17.4	1.2	M	0	1	1
Albizia guachapele (Kunth) Dugand	13.0	0.2	S	0	1	1
Bursera simaruba (L.) Sarg.	13.0	0.09	S	0	1	1
Cordia bicolor A.DC.	13.0	0.07	S	1	1	1
Croton draco Schltdl.	13.0	0.2	S	1	0	1

Nombre científico	Frecuencia relativa	Abundancia relativa	Uso Principal	TIPOS		
				C2	C3	C4
Dalbergia sp.	13.0	0.24	M	0	1	0
Erythrina fusca Lour	13.0	0.46	S	1	0	1
Eugenia guatemalensis Donn. Sm.	13.0	0.38	S	0	0	1
Brugmansia pittieri (Saff.) Moldenke	13.0	0.11	S	1	0	0
Inga vera Willd.	13.0	0.4	S	0	0	1
Licania platypus (Hemsl.) Fritsch	13.0	0.07	F	0	1	1
Melicoccus bijugatus Jacq.	13.0	0.13	F	0	1	1
Platymiscium sp.	13.0	0.11	M	0	1	1
Pouteria sapota (Jacq.) H. E Moore & Stearn	13.0	0.11	F	1	0	1
NI	13.0	1.46	S	1	0	0
Acnistus arborescens (L.) Schltdl.	8.7	0.29	S	1	0	1
Averrhoa carambola L.	8.7	0.13	F	0	1	0
Delonix regia (Hook.) Raf.	8.7	0.04	M	0	0	1
Calliandra callothyrsus Meisn.	8.7	0.51	S	0	0	1
Ceiba aesculifolia (Kunth) Britten & Baker f.	8.7	0.18	M	0	1	1
Citrus aurantiifolia (Christm.) Swingle	8.7	0.27	F	0	0	1
Eucalyptus deglupta Blume	8.7	0.29	M	1	0	1
Ficus sp.	8.7	0.04	S	1	1	0
Guarea guidonia (L.) Sleumer	8.7	0.2	M	0	0	1
Lippia myriocephala Schltdl. & Cham.	8.7	0.09	S	0	1	0
Morinda citrifolia L.	8.7	0.09	Me	0	1	1
Mosquitoxylum jamaicense Krug & Urb.	8.7	0.07	M	1	0	1
Myrospermum frutescens Jacq.	8.7	0.13	S	0	1	0
Nephelium lappaceum L.	8.7	0.07	F	0	1	1
Quercus spp.	8.7	0.04	M	0	0	1
NI	4.3	0.04	M	1	0	0
NI	4.3	0.18	M	0	0	1
Albizia saman (Jacq.) Merr.	4.3	0.02	M	0	0	1
Andira inermis (Wright) DC.	4.3	0.07	S	0	1	0
Astronium graveolens Jacq.	4.3	0.02	M	0	1	0
Azadirachta indica A.Juss.	4.3	0.09	S	0	1	0
Bactris gasipaes Kunth	4.3	0.02	F	0	0	1
Bixa orellana L.	4.3	0.02	F	0	0	1
NI	4.3	0.02	S	0	1	0
Casimiroa edulis La Llave	4.3	0.02	F	0	0	1
Artocarpus altilis (Parkinson ex F.A.Zorn) Fosberg	4.3	0.11	F	0	0	1
Citrus sp.	4.3	0.44	F	0	0	1
Erythrina sp.	4.3	0.07	S	0	1	0
NI	4.3	0.02	S	0	0	1
Pterocarpus sp.	4.3	0.04	M	0	1	0
Enterolobium cyclocarpum (Jacq.) Griseb.	4.3	0.11	S	0	0	1
Erythrina sp.	4.3	0.04	S	0	0	1
Ficus ovalis (Liebm.) Miq.	4.3	0.02	S	0	1	0
Genipa americana L.	4.3	0.02	S	0	1	0
Gmelina arborea Roxb.	4.3	0.15	M	0	0	1

Nombre científico	Frecuencia relativa	Abundancia relativa	Uso Principal	TIPOS		
				C2	C3	C4
NI	4.3	0.04	M	0	0	1
NI	4.3	0.04	S	0	1	0
Inga edulis Mart.	4.3	1.73	S	0	1	0
Inga sp.	4.3	0.4	S	0	0	1
Laetia procera (Poepp.) Eichler	4.3	0.04	M	1	0	0
Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit	4.3	0.11	S	0	0	1
NI	4.3	0.02	S	0	1	0
Luehea candida (Moc. & Sesse ex DC.) Mart.	4.3	0.02	S	0	1	0
Mammea americana L.	4.3	0.02	F	0	0	1
NI	4.3	0.09	S	1	0	0
NI	4.3	0.11	S	1	0	0
Miconia argentea (Sw.) DC.	4.3	0.09	S	0	1	0
Muntingia calabura L.	4.3	0.02	S	1	0	0
NI	4.3	0.02	S	0	0	1
NI	4.3	0.02	M	1	0	0
Parkia spp.	4.3	0.02	S	0	0	1
Perymenium grande Hemsl.	4.3	0.02	S	0	1	0
NI	4.3	0.02	S	0	1	0
Pisonia macranthocarpa (Donn. Sm.)	4.3	0.46	S	0	0	1
Senna atomaria (L.) H.S. Irwin & Barneby	4.3	0.02	S	0	1	0
NI	4.3	0.09	S	1	0	0
Spondias mombin L.	4.3	0.02	S	0	0	1
Alvaradoa amorphoides Liebm..	4.3	0.02	S	0	0	1
NI	4.3	0.07	S	0	1	0
Zanthoxylum belizense Lundell	4.3	0.02	S	0	1	0
Citrus sp.	4.3	0.02	F	0	0	1

Frecuencia relativa es el porcentaje de cafetales con dosel de sombra (N = 23) donde fueron identificadas las especies (S=113). *Abundancia relativa* es el porcentaje de individuos de las especies identificadas en relación con el total de abundancia de plantas (N = 4518 en 26.2 ha). *C2* café, musáceas y árboles de servicio; *C3* café, árboles de servicio y maderables; *C4* café con árboles de servicio, maderables, frutales y musáceas. *F* frutas, *L* leña, *M* madera, *Me* medicinal, *S* sombra y otros servicios. No aplica *C1* café a pleno sol. *NI* no identificado.