

## **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<sup>-1</sup> en cafetales sin sombra hasta 35.3 Mg ha<sup>-1</sup> en cafetales con sombra más diversificada. Los árboles almacenaron el 74% del C (19.6 Mg C ha<sup>-1</sup> en promedio), seguido por 19% en las plantas de café (4.9 Mg C ha<sup>-1</sup> en promedio) y 7% en las musáceas (1.9 Mg C ha<sup>-1</sup> 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 (Tschardt *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”<sup>1</sup> 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

---

<sup>1</sup> 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).

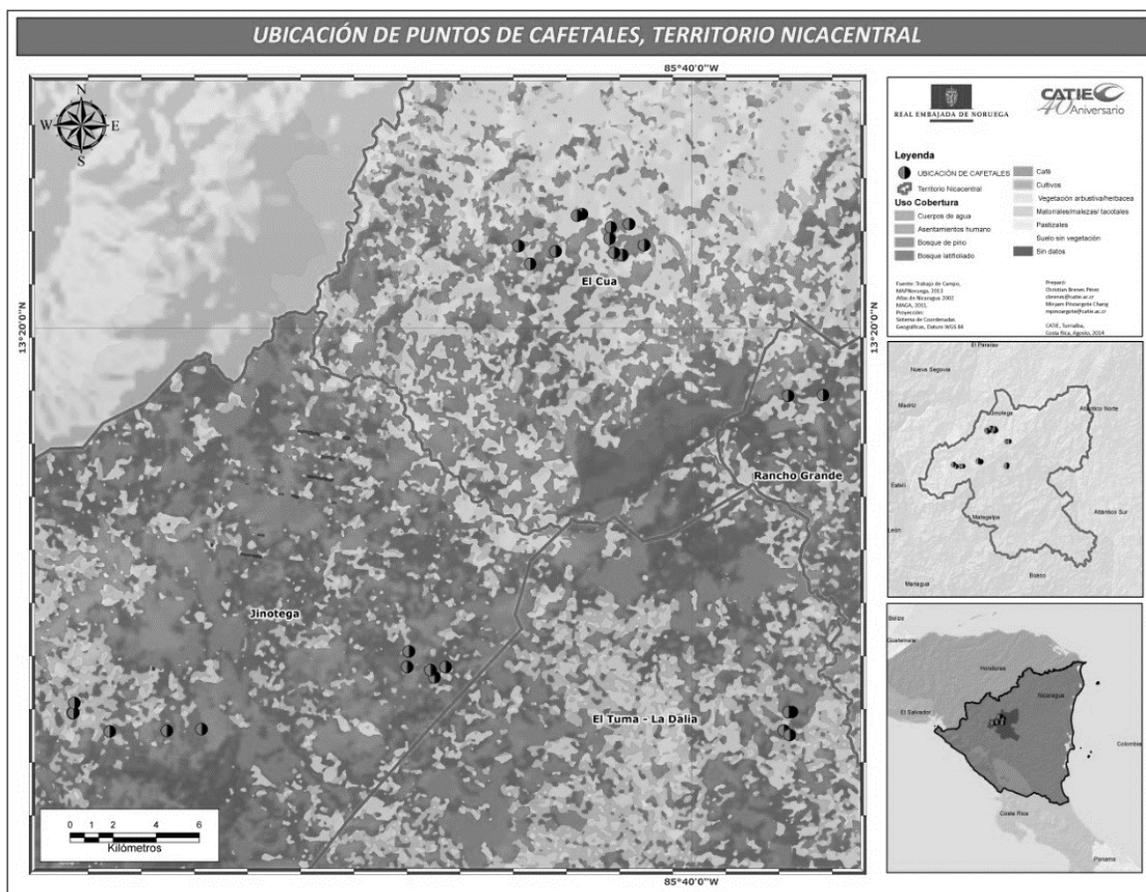
### 2.2. Ubicación y descripción de los cafetales

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<sup>2</sup> ( $g=\pi/4*dap^2$ ), biomasa aérea (kg) con ecuaciones alométricas (Cuadro 2) y el volumen de madera en pie en m<sup>3</sup> ( $VMP=g*h*f$ ) de los árboles maderables con dap > 30 cm usando el factor de forma  $f0.6$  (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<sup>-1</sup>) está dado por  $C = \text{biomasa} * \text{fracción de carbono}$ . 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
<i>Coffea arabica</i>	$B = 10^{(-1.181 + 1.991 * \text{Log}_{10}(d_{15}))}$	Segura <i>et al.</i> (2006)
<i>Cordia alliodora</i>	$B = 10^{(-0.755 + 2.072 * \text{Log}_{10}(dap))}$	Segura <i>et al.</i> (2006)
<i>Inga spp.</i>	$B = 10^{(-0.559 + 2.067 * \text{Log}_{10}(dap))}$	Segura <i>et al.</i> (2006)
<i>Junglans olanchana</i>	$B = 10^{(-1.417 + 2.755 * \text{Log}_{10}(dap))}$	Segura <i>et al.</i> (2006)
<i>Theobroma cacao</i>	$B = 10^{(-1.625 + 2.63 * \text{Log}_{10}(d_{30}))}$	Andrade <i>et al.</i> (2008)
<i>Bactris gasipaes</i>	$B = 0.74 * h^2$	Szott <i>et al.</i> (1993)
Árboles frutales	$B = 10^{(-1.11 + 2.64 * \text{Log}_{10}(dap))}$	Andrade <i>et al.</i> (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 <i>et al.</i> (2002)

B = biomasa (kg); Log<sub>10</sub> = logaritmo de base 10; dap = diámetro del tallo (cm) a la altura del pecho (1.3 m); d<sub>15</sub> = diámetro del tallo (cm) a 15 cm; d<sub>30</sub> = 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<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup>), frutas (unidades ha<sup>-1</sup>), leña (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>).

<sup>1)</sup> y volumen de madera en pie ( $m^3 \text{ ha}^{-1}$ ). 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 ( $\alpha=0.05$ ) 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**

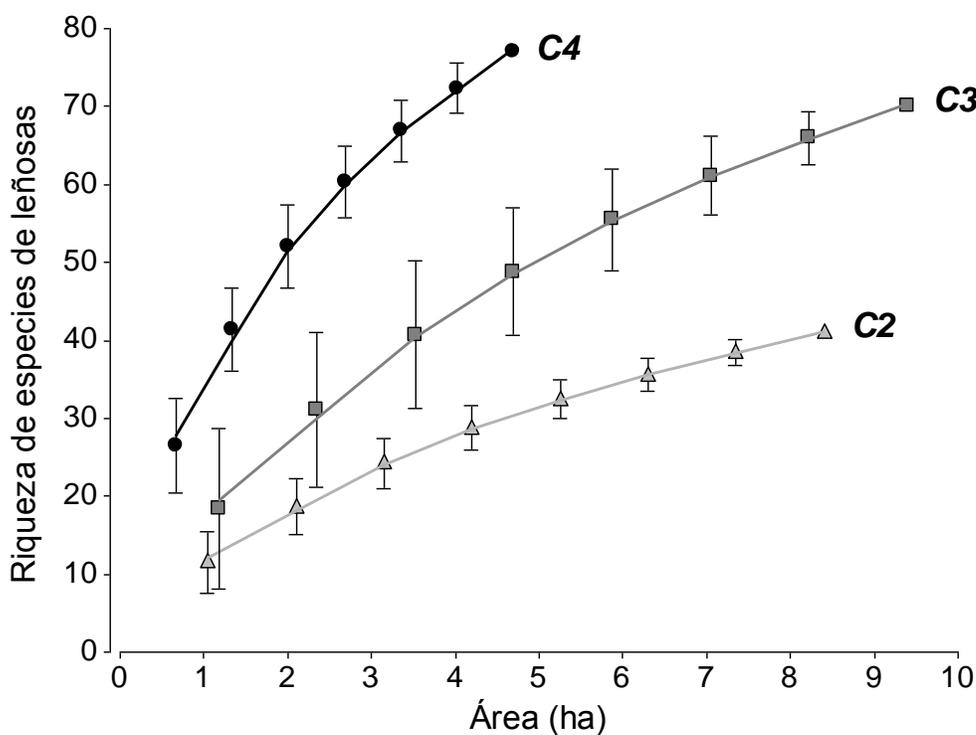
#### **3.1. Composición botánica de los cafetales**

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.**

	<b>C1</b>	<b>C2</b> M±EE	<b>C3</b> M±EE	<b>C4</b> M±EE
<b>Riqueza total</b>	0	11.1±1.5	18±3.9	27±2.4
<b>Riqueza de árboles frutales</b>	0	3.9±0.8	4.8±1.5	9.1±1.2
<b>Riqueza de árboles maderables</b>	0	2±0.5	5.4±1.1	7.7±1.3
<b>Riqueza de árboles de servicio</b>	0	5.3±0.7	7.8±1.6	9.9±1.1
<b>Índice de Shannon (H')</b>	0	1.2±0.2	1.7±0.2	2.4±0.2
<b>Índice de Simpson (D)</b>	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<sup>-1</sup>) y área basal (m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) de las plantas del dosel de sombra en diferentes tipos de cafetales en la zona centro norte de Nicaragua.**

Componente	C1	C2	C3	C4	Promedio	F	P
	M ± EE	M ± EE	M ± EE	M ± EE			
<b>Densidad</b>							
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
<b>Área basal</b>							
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

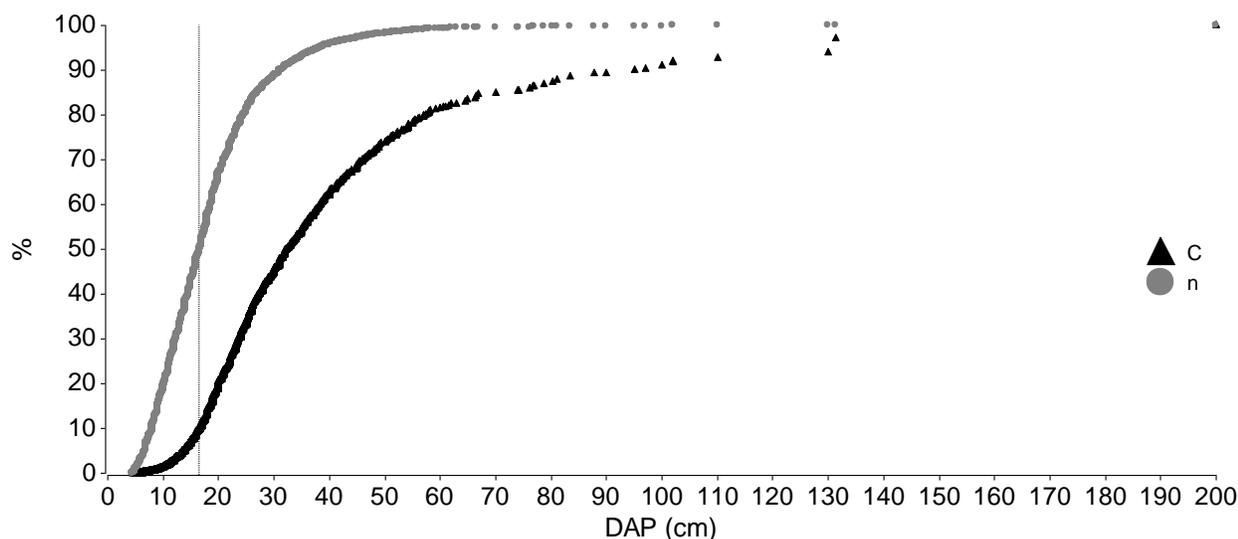
La biomasa aérea total de los cafetales almacenó en promedio 26.5 Mg C ha<sup>-1</sup>, con diferencias significativas entre tipos de cafetales. Los C4 almacenaron más carbono, C3 acumuló valor intermedio entre C4 y C2, C1 fue diferente a todos (Cuadro 5). En promedio, de todos los cafetales el componente 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<sup>-1</sup>) y las musáceas 7% (1.9 Mg C ha<sup>-1</sup>).

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<sup>-1</sup>) 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	C2	C3	C4	Promedio	F	P
	M ± EE	M ± EE	M ± EE	M ± EE			
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<sup>-1</sup> 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 platyphu* 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 <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	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 <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	N/A	1.1±0.3	0.4±0.2	1.9±0.7	1±0.3		
Bananos	kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	N/A	664±115	972±395.6	1738±466.3	935.4±197		
Cítricos	unidad ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	N/A	1815±1802	3264±2053.2	23411±17186.9	7574±4656.8		
Frutas	unidad ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	N/A	36±35.7	524±385.1	3678±2210.1	1120±627.7		
VMP	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	N/A	0.4±0.2	17.6±8.2	4.3±2.2	6.5±2.8		
ValMP	US\$ ha <sup>-1</sup>	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 platyphu*, *Byrsonima crassifolia*; VMP volumen de madera en pie; ValMP valor de madera en pie.

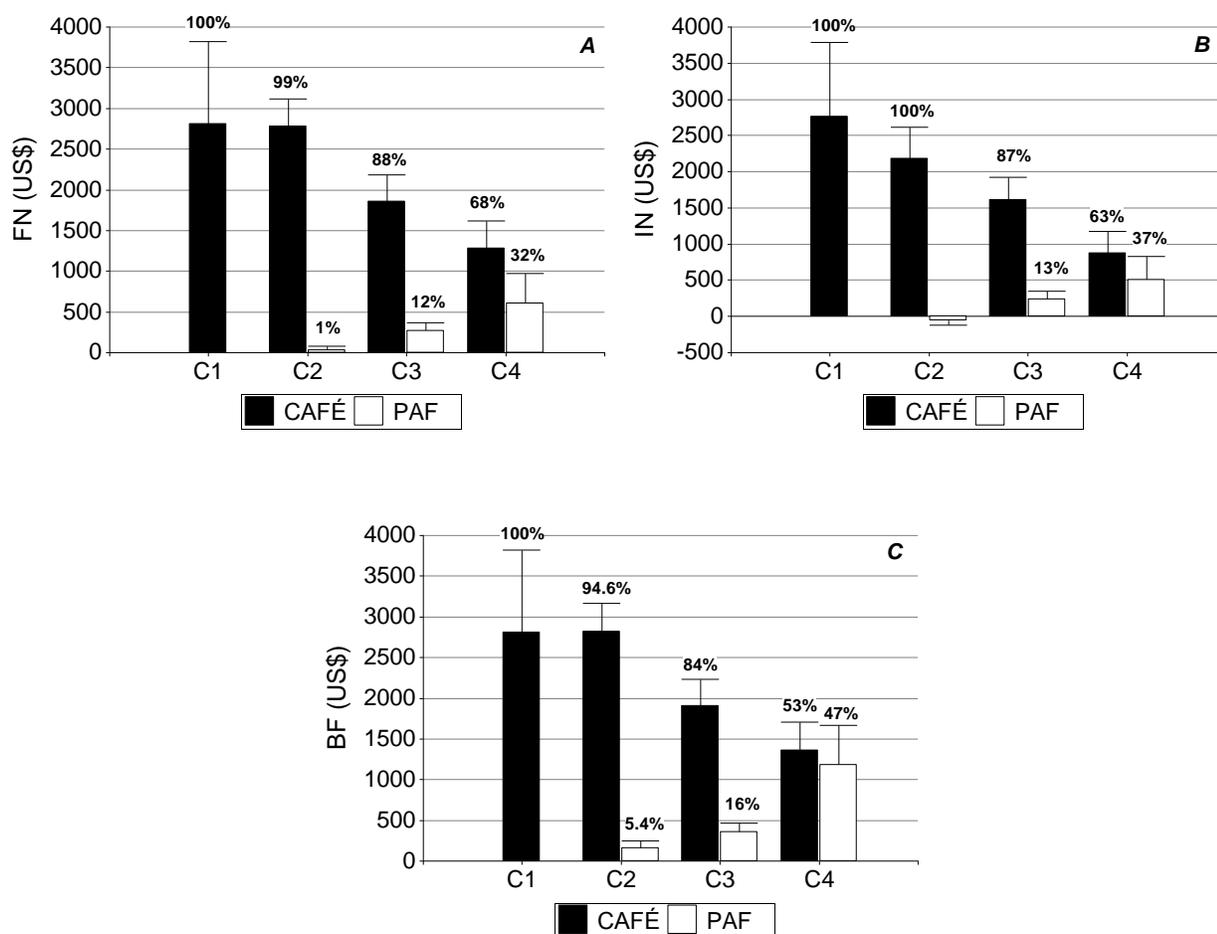
**Cuadro 7. Indicadores económicos en cuatro tipos de cafetales en la zona centro norte de Nicaragua.**

Indicador	Unidades	C1 M ± EE	C2 M ± EE	C3 M ± EE	C4 M ± EE	Promedio M ± EE	F	P
IBV	US\$ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	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 <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	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 <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	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 <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	54±68.3 b	693±291.7 a	271±89 ab	498±180.3 a	423±98	3.55	0.0302
IN	US\$ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	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 <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	0±0c	170±42.6 b	142±39.1 b	654±202.2 a	262±67.2	6.41	0.0026
BF	US\$ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	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 <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	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

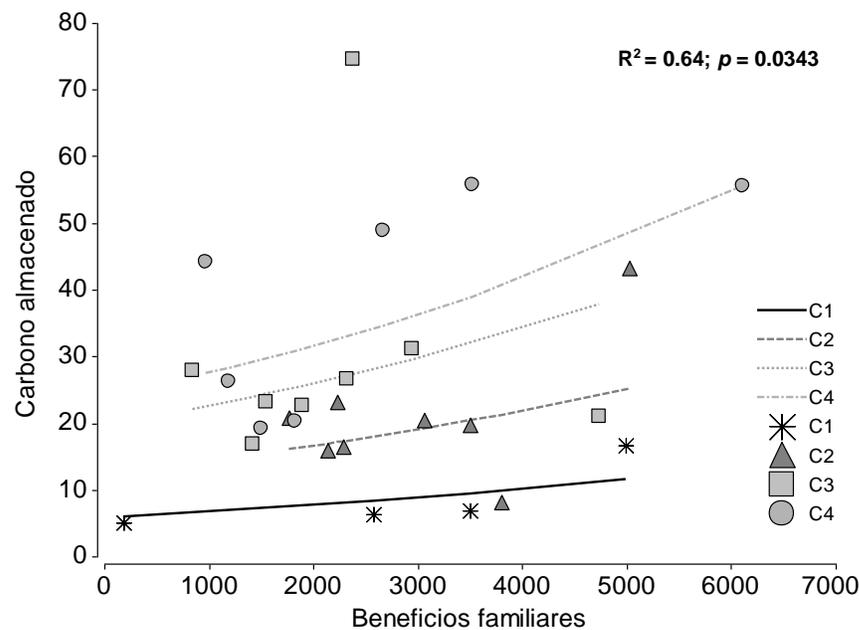
Los cafetales no difirieron en todo lo relacionado con el dinero en efectivo y ahorro (ingresos brutos, costos en efectivo, flujo neto, ingreso neto, beneficios familiares y beneficios familiares por día de trabajo); únicamente difirieron en términos del uso de la mano de obra familiar (costo en especie) 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<sup>-1</sup> se obtuvo un amplio rango de rendimientos (10-45 qq oro ha<sup>-1</sup>). 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<sup>2</sup> 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<sup>-1</sup>) 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.**

<b>Variabes</b>	<b>C1C2</b>	<b>C1C3</b>	<b>C1C4</b>	<b>C2C3</b>	<b>C2C4</b>	<b>C3C4</b>
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<sup>-1</sup> (rango 58-347) y los sistemas *policultivo tradicional* registraron hasta 433 árboles ha<sup>-1</sup>. En Zona da Mata, Brasil, Souza *et al.* (2012) registraron en promedio 336 árboles ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>) y mayor densidad en los sistemas a pleno sol (6557 plantas ha<sup>-1</sup>). 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<sup>-1</sup> en monocultivo y 2253 plantas ha<sup>-1</sup> en policultivo. En México son aún más bajas, 1985.1 plantas ha<sup>-1</sup> en policultivo tradicional y 2684 plantas ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> y un *policultivo comercial* 16 Mg C ha<sup>-1</sup> (Rahn *et al.* 2013). Otros cafetales de Latinoamérica almacenaron en promedio en biomasa aérea y debajo del suelo

10.5 Mg C ha<sup>-1</sup> a *pleno sol*, en *sombra de monocultivo* 14.3 Mg C ha<sup>-1</sup>, en *policultivo comercial* 30.2 Mg C ha<sup>-1</sup> y en *policultivo tradicional* 42.5 Mg C ha<sup>-1</sup> (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 cabruca (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  $\leq 16.5$ cm, 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<sup>-1</sup>) en todos los tipos de cafetales fue mayor que el rendimiento nacional promedio de Nicaragua (17 qq oro ha<sup>-1</sup> 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.
- Hagggar, 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.; Hagggar, 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.; Schreckenber, 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.; Kogushi, 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.; Armbrrecht, 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](http://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.; Hagggar, 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.; Tschardtke, 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.
- Tschardtke, T.; Clough, Y.; Bhagwat, S.A.; Buchori, D.; Faust, H.; Hertel, D.; Hölscher, D.; Juhbandt, 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.