

Composición y estructura del dosel de sombra en sistemas agroforestales con café de tres municipios de Cundinamarca, Colombia

Composition and structure of shade canopy in coffee agroforestry systems of three municipalities of Cundinamarca, Colombia

Piedad Cecilia Zapata Arango¹

Resumen

Se estudió la composición y estructura del dosel de sombra en cafetales de los municipios de Tibacuy, Pacho y San Juan de Rioseco, Cundinamarca, Colombia. Se seleccionaron 15 fincas por municipio y en cada finca un lote de café (*Coffea arabica* cv. Castillo) en el que se estableció una parcela de 1000 m² donde se registraron las especies arbóreas con diámetro a la altura del pecho mayor a 10 cm y todos los individuos de plátano (*Musa AAB*). De acuerdo al porcentaje de sombra en cada municipio las fincas se clasificaron en sombrero alto (SA), sombrero medio (SM) y sombrero bajo (SB). Se encontraron 43 especies arbóreas asociadas a los cafetales, donde el 16% de ellas estaban presentes en los tres municipios; la familia más representativa fue la Fabaceae. La cantidad de plátano fue mayor en cafetales de San Juan de Rioseco, siendo esta especie determinante en las interacciones por sombra en los sistemas evaluados. La abundancia absoluta de árboles fue mayor en fincas con SA y SM ($P < 0,05$) en los tres municipios; no se registraron diferencias significativas entre niveles de sombrero para la riqueza de especies arbóreas y, en Tibacuy, la diversidad fue mayor en sistemas de SM ($P < 0,05$). *Citrus sinensis*, *Inga edulis* y *Cordia alliodora* fueron las especies de mayor importancia ecológica en los cafetales de los tres municipios, de acuerdo al I.V.I. Finalmente, en los sistemas agroforestales (SAF) de los tres municipios no existe una distribución homogénea de la sombra en el terreno lo cual es más evidente en SAF de SB en Pacho; hay superposición de copas y el SAF de SA en Tibacuy tiene una mayor complejidad en la estructura vertical, con tres estratos bien diferenciados.

Palabras clave: Sistemas agroforestales; Cobertura arbórea; Importancia ecológica

Abstract

The composition and structure of the shade canopy in coffee plantations of the municipalities of Tibacuy, Pacho and San Juan de Rioseco, in Cundinamarca, Colombia, were studied. Fifteen (15) farms in each municipality were selected and, in each farm, a coffee plantation (*Coffea arabica* cv. Castillo), in which it was established a plot of 1000 m² where the tree species with diameter at breast height greater than 10 cm and all individuals of banana (*Musa AAB*) were registered. According to the percentage of the shade in each municipality, the farms were classified as high shadow (SA), medium shadow (SM) and low shadow (SB). Forty-three (43) tree species associated with coffee plantations were found, where 16 % of them were present in the three municipalities; the most representative family was Fabaceae. The abundance of banana was higher in coffee plantations of San Juan de Rioseco, being this determinant species in the interactions by shade in the systems evaluated. The absolute abundance of trees was higher in farms with SA and SM ($P < 0,05$) in the three municipalities; There were no significant differences between the levels of shade for the richness of tree species and, in Tibacuy, diversity was higher in SM systems ($P < 0,05$). *Citrus sinensis*, *Inga edulis* and *Cordia alliodora* were the species of greater ecological importance in the coffee systems of the three municipalities, according to I.V.I. Finally, in the agroforestry systems (SAF) of the three municipalities there is no homogeneous distribution of the shade in the plot, which is more evident in SAF of SB in Pacho; There is overlapping of tree crowns and the SAF of SA in Tibacuy has a greater complexity in the vertical structure, with three well differentiated strata.

Keywords: Agroforestry systems; Tree canopy; Ecological importance

¹ Agrozootecnista, MSc., Grupo de Investigación en Producción Agrícola Sostenible - U.D.C.A., The Nature Conservancy, Calle 67 N. 7-94, Bogotá, Colombia. piedad.zapata@tnc.org (ORCID: 0000-0002-9293-6572)



Introducción

Colombia ocupa el segundo lugar a nivel mundial en biodiversidad, la cual tiene entre sus principales amenazas la deforestación y el cambio climático. La agricultura sigue siendo el factor más importante de la deforestación en el mundo, por lo que es urgente promover interacciones positivas entre este sector y la actividad forestal (ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION, 2016; SISTEMA DE INFORMACIÓN SOBRE LA BIODIVERSIDAD EN COLOMBIA, 2016). En ese sentido, los sistemas agroforestales (SAF) consisten en la introducción o retención de árboles en las fincas para aumentar, diversificar y sostener la producción mejorando los beneficios sociales, económicos y ambientales, siendo importantes para la transformación de la agricultura convencional en agricultura climáticamente inteligente ya que proporcionan a los agricultores rurales fuentes de ingresos adicionales y mayores estrategias de resiliencia para adaptarse a los impactos del mercado o del clima, reduciendo su exposición a los riesgos (ATANGANA *et al.*, 2014; LASCO *et al.*, 2014; MONTAGNINI, 2015; REED *et al.*, 2017).

La producción de café ha atraído una atención considerable a nivel mundial, debido a su importancia económica, social y ecológica, donde los SAF se han propuesto como una manera de conciliar la conservación de la biodiversidad, la producción de alimentos y la prestación de otros servicios de los ecosistemas (HERNÁNDEZ; MARTÍNEZ; MANSON; CONTRERAS HERNÁNDEZ, 2009; GOODALL; BACON; MENDEZ, 2015; DE BEENHOUWER *et al.*, 2016). En Colombia para el 2015 habían 940, 9 miles de hectáreas cultivadas de café de las cuales el 40,2% estaban con algún tipo de sombrío, mientras que en el departamento de Cundinamarca el área cultivada en café con sombra era de 63,2 % (FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA, 2016).

El café (*Coffea arabica* L.) es una especie originaria del sotobosque, por lo que tiene capacidades fotosintéticas adaptadas a ambientes sombreados. Sin embargo, plantaciones a pleno sol permiten productividades más elevadas si las condiciones de temperatura y de manejo son adecuadas (RAPIDEL *et al.*, 2015). Es por ello que en SAF el estudio de las interacciones entre las leñosas perennes y el cultivo asociado es relevante, pues el equilibrio entre estas determina el efecto total dentro del sistema; las interacciones pueden ser positivas, neutrales o negativas; una interacción positiva es la complementariedad entre los componentes en la adquisición de recursos mientras que la competencia por agua, nutrientes y luz es un ejemplo de las interacciones negativas. Un entendimiento de dónde y cómo ocurren las interacciones indica dominios de posibles modificaciones del sistema que se pueden emprender mediante actividades de manejo (ATANGANA *et al.*, 2014).

La intensidad en la disminución de la radicación en SAF depende de la densidad arbórea, las características estructurales de las especies y permanencia del follaje. Frente a lo anterior, el objetivo de este trabajo consistió en caracterizar la composición y estructura del dosel en cafetales con tres niveles de sombrío en tres municipios de Cundinamarca, Colombia, teniendo en cuenta que investigaciones de este tipo no habían sido realizadas en la zona y cuyos resultados se convierten en la línea base para determinar el potencial de estos SAF en la conservación de la biodiversidad en el paisaje cafetero y un insumo para la toma de decisiones de manejo en estos sistemas que permitan conciliar los intereses de conservación y productividad en propiedades rurales.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se desarrolló en los municipios de Pacho, Tibacuy y San Juan de Rioseco,

Departamento de Cundinamarca, Colombia. El municipio de Pacho está ubicado en el noroccidente del departamento de Cundinamarca, entre las coordenadas geográficas 5° 22" y 5° 8" N y los 74° 18" y 74° 4" longitud O, a una altitud media de 2136 m y una temperatura promedio de 22.9 °C. El municipio de Tibacuy se encuentra al suroccidente del departamento a los 4°21'04" de latitud N y 72°27'23" de longitud al O, a una altitud de 1647 m y una temperatura que oscila entre 19 y 22 °C y San Juan de Rioseco que se ubica en las coordenadas geográficas 4°50'55" latitud N y 74°37'14" longitud O, a una altitud promedio de 1303 m, con temperatura promedio de 21 °C. En los tres municipios la caficultura es una actividad representativa dentro de la economía; donde se ha incentivado en los últimos años la siembra de café (*Coffea arabica*) cv. Castillo (ALCALDÍA DE PACHO, 2016; ALCALDÍA DE SAN JUAN DE RIOSECO, 2016; ALCALDÍA DE TIBACUY, 2016). El cv. Castillo fue desarrollado por Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé y proviene de la variedad Caturra y el Híbrido de Timor; posee resistencia a la roya del cafeto y probable tolerancia a la enfermedad de las cerezas del café (ALVARADO; POSADA SUÁREZ; CORTINA GUERRERO, 2005).

Unidades de muestreo

Se hicieron recorridos por la zona cafetera seleccionando 15 fincas por municipio y en cada finca un lote de café (*Coffea arabica*) cv. Castillo. En Tibacuy las 15 fincas estuvieron en un rango altitudinal entre 1442 -1812 m, en Pacho entre los 1478 y 1741 m y en San Juan de Rioseco entre los 1322 y 1741 m. Los lotes seleccionados tenían áreas menores a 1 ha. Para obtener el porcentaje de sombra en cada lote se estableció una parcela de 1000 m² (20 x 50 m) donde se tomaron cinco fotografías digitales con lente plano a una distancia de 1,5 m del suelo, cuatro en el extremo y una en el centro de la parcela, las cuales se analizaron con el software Gap Light Analyzer (FRAZER; CANHAM; LERTZMAN, 1999), para al final establecer tres categorías de sombrío: bajo (SB) de 0% a 20% en Pacho y Tibacuy y 0 % a 30% en San Juan de Rioseco; medio (SM) de 21% a 33% en Pacho, 21% a 47% en Tibacuy y 31% a 65% en San Juan de Rioseco. Finalmente, los lotes con sombrío alto (SA) estuvieron en los siguientes rangos: 34% a 52% en Pacho, 48% a 70% en Tibacuy y 66% a 75% en San Juan de Rioseco.

Caracterización del dosel de sombra en cafetales

En cada parcela de 1000 m² se identificaron y contabilizaron todos los árboles con diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor a 10 cm; las mediciones se realizaron entre octubre de 2014 y enero de 2015. La identificación de las especies se hizo de manera visual con el apoyo de los caficultores y mediante consulta bibliográfica; también se registraron todos los individuos de plátano (*Musa AAB*) presentes las parcelas. A cada árbol se le estimó la altura total, altura del fuste y DAP, para el caso de árboles con varios troncos, se calculó el diámetro cuadrático medio. El área de copa se estimó midiendo dos diámetros perpendiculares de la proyección de la copa sobre el suelo; se asumió el área de proyección como un elipsoide (SERRANO; ANDRADE; MORA, 2014). La cobertura arbórea se estimó como la sumatoria del área de copa de los arboles sobre el área total muestreada, expresada en porcentaje. El área basal se obtuvo de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$g = \frac{\pi}{4} \times DAP^2$$

Dónde: g = Área basal de árboles individuales (cm²/árbol); DAP = diámetro a la altura del pecho.

A partir de los inventarios se estimó la abundancia absoluta como el número de individuos de cada especie por unidad de área; la abundancia relativa como la abundancia absoluta expresada en porcentaje; la frecuencia relativa se calculó como la frecuencia absoluta de cada especie sobre la sumatoria de las frecuencias absolutas en porcentaje y la dominancia relativa como la proporción porcentual del área basal de cada especie respecto al área basal total del sistema. El índice de valor de importancia (I.V.I) se estimó como la sumatoria de la abundancia relativa, frecuencia relativa y dominancia relativa (CURTIS; MCINTOSH, 1950). Para el análisis de la estructura del dosel de sombra se tomó como modelo una parcela de cada SAF por municipio cuya información se simuló a través del software SEI-FS (WORLD AGROFORESTRY CENTRE, 2009). La diversidad se expresó a través de la riqueza y el Índice de Shannon

Diseño experimental y análisis estadísticos

Se empleó un diseño completamente al azar con tres tratamientos (nivel de sombrero) y cinco repeticiones (lote de café) por municipio. Se realizaron transformaciones logarítmicas para los datos de abundancia de plátano con el fin de lograr la normalidad. Se hicieron análisis de varianza y en los casos en que se rechazó la hipótesis de igualdad de tratamientos se utilizó la prueba de comparación de medias LSD de Fisher con una significancia de 0,05. Los datos fueron analizados mediante el programa estadístico InfoStat versión 2014 (DI RIENZO *et al.*, 2014).

Resultados y discusión

Abundancia, riqueza y diversidad de especies en cafetales

En el área muestreada en los tres municipios se encontraron 43 especies arbóreas asociadas a los cafetales donde el 16% de ellas estaban presentes en los tres sitios muestreados (Tabla 1). En Tibacuy se registraron 29 especies arbóreas representadas en 18 familias, siendo Fabaceae la más abundante con seis especies. En San Juan de Rioseco y Pacho se encontraron 18 especies arbóreas, respectivamente, agrupadas en 13 familias. La Fabaceae fue la familia más abundante en San Juan de Rioseco con cuatro especies mientras que en Pacho las familias Fabaceae, Myrtaceae y Rutaceae fueron las más representativas con tres especies cada una (Tabla 1). En Pacho la especie más abundante fue *Citrus sinensis* con 71,3 individuos/ha, en San Juan de Rioseco *Inga edulis* con 40,7 individuos/ha, mientras que en Tibacuy *Cordia allidora* con 26,7 individuos/ha. *Cedrela odorata* solo se registró en Pacho siendo esta una especie en categoría de amenaza (CONVENTION OF INTERNATIONAL TRADE ENDANGERED, 2017).

Tabla 1– Abundancia e Índice de Valor de Importancia (I.V.I) de especies arbóreas en cafetales de Pacho, Tibacuy y San Juan de Rioseco, Cundinamarca.

Table 1 – Abundance and Index of Value of importance (I.V.I) of tree species in coffee plantations of Pacho, Tibacuy and San Juan de Rioseco, Cundinamarca.

Nombre científico	Familia	Pacho		Tibacuy		San Juan de Rioseco	
		Abundancia (árboles/ha)	IVI	Abundancia (árboles/ha)	IVI	Abundancia (árboles/ha)	IVI
<i>Aiouea dubia</i>	Lauraceae	-	-	2,7	18,7	-	-
<i>Albizia carbonaria</i>	Fabaceae	-	-	0,7	4,8	4	13,3

Continua...

Tabla 1 – Continuación...

Table 1 – Continuation

Nombre científico	Familia	Pacho		Tibacuy		San Juan de Rioseco	
		Abundancia (árboles/ha)	IVI	Abundancia (árboles/ha)	IVI	Abundancia (árboles/ha)	IVI
<i>Alchornea grandiflora</i>	Euphorbiaceae	-	-	2	7,2	-	-
<i>Calliandra pittieri</i>	Fabaceae	-	-	17,3	79,3	-	-
<i>Carica papaya</i>	Caricaceae	2,7	18,2	-	-	-	-
<i>Cedrela montana</i>	Meliaceae	-	-	2,7	15,6	-	-
<i>Cedrela odorata</i>	Meliaceae	4	8,0	-	-	-	-
<i>Ceiba pentandra</i>	Bombacaceae	1,3	7,6	-	-	-	-
<i>Citrus reticulata</i>	Rutaceae	37,3	27,2	-	-	-	-
<i>Citrus sinensis</i>	Rutaceae	142,7	120,6	19,3	38,8	16,7	29,9
<i>Cordia alliodora</i>	Boraginaceae	26,7	47,2	26,7	80,8	14	27,8
<i>Crescentia cujete</i>	Bignoniaceae	-	-	0,7	4,2	10,7	20,4
<i>Cupania americana</i>	Sapindaceae	-	-	1,3	4,5	0,7	5,4
<i>Citharexylum subflavescens</i>	Verbenaceae	-	-	-	-	0,7	6,4
<i>Erythrina edulis</i>	Fabaceae	5,3	18,9	-	-	1,3	6,2
<i>Erythrina poeppigiana</i>	Fabaceae	-	-	0,7	4,9	-	-
<i>Eucalyptus grandis</i>	Myrtaceae	4	44,6	-	-	-	-
<i>Eugenia malaccensis</i>	Myrtaceae	1,3	7,0	-	-	-	-
<i>Ficus elástica</i>	Moraceae	1,3	5,8	-	-	-	-
<i>Ficus gigantocyce</i>	Moraceae	-	-	3,3	8,9	-	-
<i>Fraxinus chinensis</i>	Oleaceae	-	-	2	10,2	-	-
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Sterculiaceae	-	-	0,7	19,5	-	-
<i>Guettarda crispiflora</i>	Rubiaceae	-	-	0,7	4,3	-	-
<i>Heliocarpus popayanensis</i>	Tiliaceae	-	-	-	-	0,7	5,4
<i>Inga edulis</i>	Fabaceae	24	33,3	8,7	16,7	40,7	105,5
<i>Maclura tinctoria</i>	Moraceae	-	-	1,3	4,7	-	-
<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	6,7	11,2	0,7	4,9	0,7	11,1
<i>Manilkara huberi</i>	Sapotaceae	6,7	10,3	-	-	-	-
<i>Myrcia cucullata</i>	Myrtaceae	-	-	2	8,3	3,3	11,0
<i>Myrsine coriácea</i>	Myrsinaceae	-	-	2,7	13,3	2,7	11,6

Continua...

Tabla 1 – Conclusion...

Table 1 – Conclusion...

Nombre científico	Familia	Pacho		Tibacuy		San Juan de Rioseco	
		Abundancia (árboles/ha)	IVI	Abundancia (árboles/ha)	IVI	Abundancia (árboles/ha)	IVI
<i>Myrsine guianensis</i>	Myrsinaceae	4	27,9	6,7	28,5	-	-
<i>Ochroma sp</i>	Malvaceae	-	-	-	-	4,7	15,7
<i>Persea americana</i>	Lauraceae	1,3	6,9	4,7	19,5	2	14,7
<i>Piptocoma discolor</i>	Asteraceae	1,3	14,0	-	-	-	-
<i>Pittosporum undulatum</i>	Pittosporaceae	-	-	4	15,5	-	-
<i>Platymiscium hebestachyum</i>	Fabaceae	-	-	0,7	5,3	-	-
<i>Prunus integrifolia</i>	Rosaceae	-	-	0,7	4,2	-	-
<i>Psidium guajava</i>	Myrtaceae	-	-	2,7	13,0	1,3	5,8
<i>Senna spectabilis</i>	Fabaceae	10,7	13,5	4,7	16,3	2	7,5
<i>Tabebuia rosea</i>	Bignoniaceae	-	-	0,7	4,2	12,7	30,4
<i>Trema micrantha</i>	Ulmaceae	-	-	-	-	0,7	5,4
<i>Trichanthera Gigantea</i>	Acanthaceae	-	-	4	10,2	-	-
<i>Zanthoxylum monophyllum</i>	Rutaceae	2,7	36,6	0,7	4,2	-	-

En promedio hubo una mayor abundancia de árboles en cafetales de Pacho, los cuales presentaron menor DAP y altura total con respecto a Tibacuy y San Juan de Rioseco. La cantidad de plátano fue mayor en cafetales de San Juan de Rioseco (Tabla 2). La abundancia absoluta de árboles en este estudio es mayor a la registrada en cafetales con sombra del Cuá, Nicaragua donde Leiva Granados (2011) encontró abundancias promedio de 74 individuos por ha, en árboles con DAP mayor a cinco cm. En Ixhuatán, México la densidad promedio de individuos en el dosel de sombra fue de 252 árboles/ha y en Talapa de 181 individuos/ha (YEPES, 2003). En Chiapas, México se encontró un total de 61 especies de sombra con una densidad promedio de 260 árboles/ha (SOTO *et al.*, 2001). En cafetales con sombrío en el Valle del Cauca, Colombia se encontraron en promedio 350 individuos/ha, en Támesis, Antioquia 378 individuos/ha y en Santander 680 individuos/ha (SÁNCHEZ; BOTERO; VÉLEZ, 2007), superiores a las registradas en los cafetales del presente estudio.

La cobertura arbórea fue mayor en SAF de San Juan de Rioseco, seguido de Tibacuy y Pacho (Tabla 2); sin embargo, además de la cobertura arbórea, el plátano juega un papel determinante en las interacciones por sombra en los SAF con café de los tres municipios.

Moreno Berrocal, Hernández Guzmán y López (2004) mencionan que en Colombia tradicionalmente se observa al café y al plátano creciendo como un sistema de producción, lo que se convierte en una opción agronómica rentable de gran importancia para la diversificación de los ingresos de los cafeteros; los mismos autores después de evaluar la producción de café y plátano en el Líbano, Tolima recomiendan una densidad entre 298 y 340 individuos/ha asociados a café. En ese sentido, las densidades de plátano registradas en cafetales de San Juan de Rioseco en fincas con SA superan esos niveles, intensificando las relaciones de competencia dentro del sistema.

Tabla 2 – Abundancia, características dasométricas y nivel de cobertura arbórea en cafetales por municipio.

Table 2 – Abundance, dasometric characteristics and level of tree cover in coffee plantations by municipality.

Parámetro	Pacho	Tibacuy	San Juan de Rioseco
Abundancia absoluta de árboles/ha	292	125	121
Abundancia absoluta de plátano/ha	64,7	123	432
Diámetro a la altura del pecho DAP (cm)	19,2	21,7	21,4
Altura total (m)	7,5	12,9	8,7
Cobertura arbórea (%)	33,1	59,9	63,5

En las tres localidades se registraron diferencias significativas entre el nivel de sombrío para la abundancia absoluta de árboles ($P < 0,05$), siendo esta mayor en SM en San Juan de Rioseco y el plátano superior en SAF de SA (Tabla 3). En SM se registraron 15 especies arbóreas, 11 en fincas con SA y 10 especies en SB. En los tres SAF la especie más abundante fue *Inga edulis* con 40 individuos/ha en SA, 62 individuos/ha en SM y 20 individuos/ha en SB. En Tibacuy la abundancia absoluta de árboles fue mayor en cafetales con SA, mientras que la cantidad de plátano fue mayor en cafetales con SB (Tabla 3). En SAF de SM se encontraron 24 especies arbóreas, 11 en SB y cuatro especies en SA. La especie más abundante en cafetales de SA fue *Caliandra pittieri* con 52 individuos/ha, mientras que en cafetales de SM y SB la especie más abundante fue *Cordia alliodora* con 26 individuos/ha y 10 individuos/ha, respectivamente.

Tabla 3 – Riqueza, diversidad y abundancia de especies arbóreas en cafetales de tres municipios de Cundinamarca, Colombia (\pm error estándar). Letras diferentes entre columnas por municipio indican diferencias significativas.Table 3 – Richness, diversity and abundance of tree species in coffee plantations in three municipalities of Cundinamarca, Colombia (\pm standard error). Different letters between columns by municipality indicate significant differences.

Municipio	Nivel de sombrío	Riqueza	Índice de Shannon	Abundancia árboles/ha	Abundancia plátano/ha
San Juan de Rioseco	SA	4,2 \pm 1,1 a	1,2 \pm 0,3 a	142 \pm 11,1 a	706 \pm 97,6 a
	SM	4,8 \pm 1,6 a	1,2 \pm 0,5 a	166 \pm 25,0 a	272 \pm 32,6 b
	SB	2,8 \pm 1,6 a	0,7 \pm 0,6 a	56 \pm 12,1 b	320 \pm 77,4 a
Tibacuy	SA	5,4 \pm 2,9 a	1,3 \pm 0,5 ab	192 \pm 47,2 a	110 \pm 105,1 a
	SM	7,4 \pm 3,2 a	1,6 \pm 0,5 a	144 \pm 36,1 ab	4 \pm 4 a
	SB	2,6 \pm 1,5 a	0,8 \pm 0,6 b	40 \pm 10,5 b	256 \pm 67,9 a
Pacho	SA	4,4 \pm 1,5 a	1,0 \pm 0,3a	384 \pm 29,3 a	22 \pm 12 b
	SM	3,4 \pm 1,5 a	0,8 \pm 0,5a	400 \pm 92,7 a	80 \pm 39,5 ab
	SB	2,6 \pm 1,5 a	0,8 \pm 0,6a	92 \pm 16,3 b	92 \pm 67,9 a

Fuente: ZAPATA (2017)

No se registraron diferencias significativas entre niveles de sombrero ($P > 0,05$) con relación a la riqueza de especies arbóreas observada en los tres sitios; sin embargo, hubo mayor riqueza de especies en cafetales de SM y SA frente a SB. Para la diversidad de especies se registraron diferencias significativas en Tibacuy, siendo mayor en cafetales de SM (Tabla 3). La riqueza de especies arbóreas de este estudio fue superior a la registrada en cafetales de Colombia en las localidades del Cairo (1,6), Támesis (1,9) y Santander (4,9) (SÁNCHEZ; BOTERO; VÉLEZ, 2007), mientras que la diversidad fue menor a la de SAF con café en la Sierra de Atoyac, Veracruz, donde de acuerdo al índice de Shannon los policultivos complejos tuvieron mayor diversidad (3,6) que policultivos simples (2,4) (GARCÍA, 2014).

La abundancia de árboles en Pacho fue mayor en SAF con SM y SA; la cantidad de plátano fue superior en cafetales de SB (Tabla 3). En SAF de SA se registraron nueve especies arbóreas, en SM y SB diez especies, respectivamente. En los tres SAF la especie más abundante fue *Citrus sinensis* con un total de 100 individuos/ha en SA, 108 individuos/ha en SM y seis individuos/ha en SB.

Índice de Valor de Importancia (I.V.I) de las especies arbóreas en cafetales

En San Juan de Rioseco *Inga edulis* fue la especie con mayor I.V.I en los cafetales, seguida de *Cordia alliodora*, *Tabebuia rosea* y *Crecentia cujete*; por su parte, en Tibacuy *Cordia alliodora* fue la especie con mayor I.V.I seguida de *Calliandra pittieri*; otras especies importantes de acuerdo al I.V.I en este municipio fueron *Citrus sinensis* y *Myrsine guianensis*. En Pacho *Citrus sinensis* fue la especie con mayor I.V.I, seguida de *Cordia alliodora*, *Eucalyptus grandis* e *Inga edulis*. En los cafetales de los tres municipios se evidenció un desbalance en su estructura arbórea, siendo esto más notorio en San Juan de Rioseco en cafetales con SM y SB, en los cuales predomina la especie *Inga edulis*; en Tibacuy hay un mayor desbalance en cafetales de SB, con dominancia de *Cordia alliodora*, mientras que en los cafetales de Pacho con SM y SA el desbalance en la composición de especies es a favor de *Citrus sinensis* (Tabla 1).

En el Cuá, Nicaragua las especies con mayor importancia ecológica en los cafetales de la zona fueron *C. alliodora* (64,1), *Inga oerstediana* (47,9), *C. sinensis* (10,2) y *Cedrela odorata* (10,0) (LEIVA GRANADOS, 2011). En sistemas agroforestales de policultivos complejos en México *Cordia alliodora* registró un I.V.I de 35,7 y en policultivos simples de 76,3 (GARCÍA, 2014), siendo estos últimos similares a los registrados en Tibacuy para la misma especie. Villavicencio Enríquez y Valdez Hernández (2003) encontraron un desbalance en la estructura arbórea, donde los valores más dispares en I.V.I fueron en sistemas agroforestales con café, dado que han experimentado un mayor grado de disturbio por el hombre mediante la introducción de especies exóticas como *Mangifera indica* y *Citrus* sp y por la utilización de especies maderables componentes de la selva como *Cedrela odorata* y *Juglans* sp.

La mayor importancia ecológica de las especies *Citrus sinensis*, *Calliandra pittieri*, *Inga edulis* y *Cordia alliodora* en este estudio estaría relacionada con las preferencias de los productores asociadas al uso y características de las especies que determinan interacciones favorables en asocio con el café. Es así como en los tres municipios los productores reportan como usos principales de estas especies la leña y la sombra para los cafetales, adicionalmente, para *Inga edulis* y *Citrus sinensis* indicaron su uso alimenticio y para *Cordia alliodora* su importancia como maderable; lo anterior es acorde con reportes de literatura que indican que *Cordia alliodora* es una especie de rápido crecimiento que produce madera de calidad útil para la industria de la ebanistería tiene una copa abierta, rala y capacidad de auto poda, características que hacen que los agricultores favorezcan su regeneración dentro de sistemas agroforestales, permitiendo la producción de madera sin competencia excesiva con los cultivos (CORDERO; BOSHIER, 2003; FARFÁN; URREGO, 2004).

Por su parte, especies del género *Inga* son muy utilizadas en Colombia para sombrero de cafetales, una de sus características es que producen nódulos en las raíces los cuales contienen

bacterias fijadoras de nitrógeno y las raíces se asocian con hongos micorrizos (VALLE, 2010); Finalmente, *Calliandra pittieri* es una especie leguminosa, por lo cual su condición de árbol de servicio que aporta biomasa y nutrientes al sistema, podría ser una de las características que determinen su preferencia por parte de los caficultores en Tibacuy; en este municipio en SAF de SM las especies *Aiouea dubia* y *Pittosporum undulatum* figuran dentro de las especies de mayor importancia ecológica, *Aiouea dubia* ha sido registrada en Génova, Quindío a 3150 m y en Sibate, Cundinamarca (MÉNDEZ, 2008; BERNAL *et al.*, 2012; DUQUE JARAMILLO, 2012); la presencia de esta especie en los cafetales evaluados indica su plasticidad expresada en la capacidad para adaptarse en un rango altitudinal amplio; sin embargo, es poca la información publicada de esta especie y hasta el momento no se había reportado su presencia asociada a cafetales en Colombia. *Pittosporum undulatum* es una especie originaria de Australia, se reporta que sus flores son visitadas por abejas (*Apis mellifera*) y sus semillas son consumidas por aves silvestres; ha demostrado ser muy invasiva, es de rápido crecimiento y brinda sombra densa (AUSTRALIAN NATIVE PLANTS SOCIETY, 2016; ORGANIZACIÓN PARA LA EDUCACIÓN Y PROTECCIÓN AMBIENTAL, 2016), por lo que su presencia en cafetales debe ser manejada cuidadosamente.

Estructura del dosel de sombra en cafetales

En Pacho en cafetales con SB se encontraron dos estratos: uno superior dominado por *Pitocoma discolor* y *Eucalyptus grandis* (15,8-18 m) y el estrato inferior por *Zanthoxylum monophyllum* e *Inga edulis* (5,4-10 m). En cafetales de SM el estrato superior lo conformó *Myrsine coriácea* y *Eugenia malacensis* (9-10 m) y el estrato inferior *Musa AAB*, *Citrus sinensis* y *Citrus reticulata* (5-8,5 m). En SAF de SA se encontró un estrato superior con predominancia de *Cordia alliodora* (7,2-11,5 m) y el segundo estrato representado por *Citrus sinensis* y *Musa AAB* (3,9-6,8 m) (Figura 1).

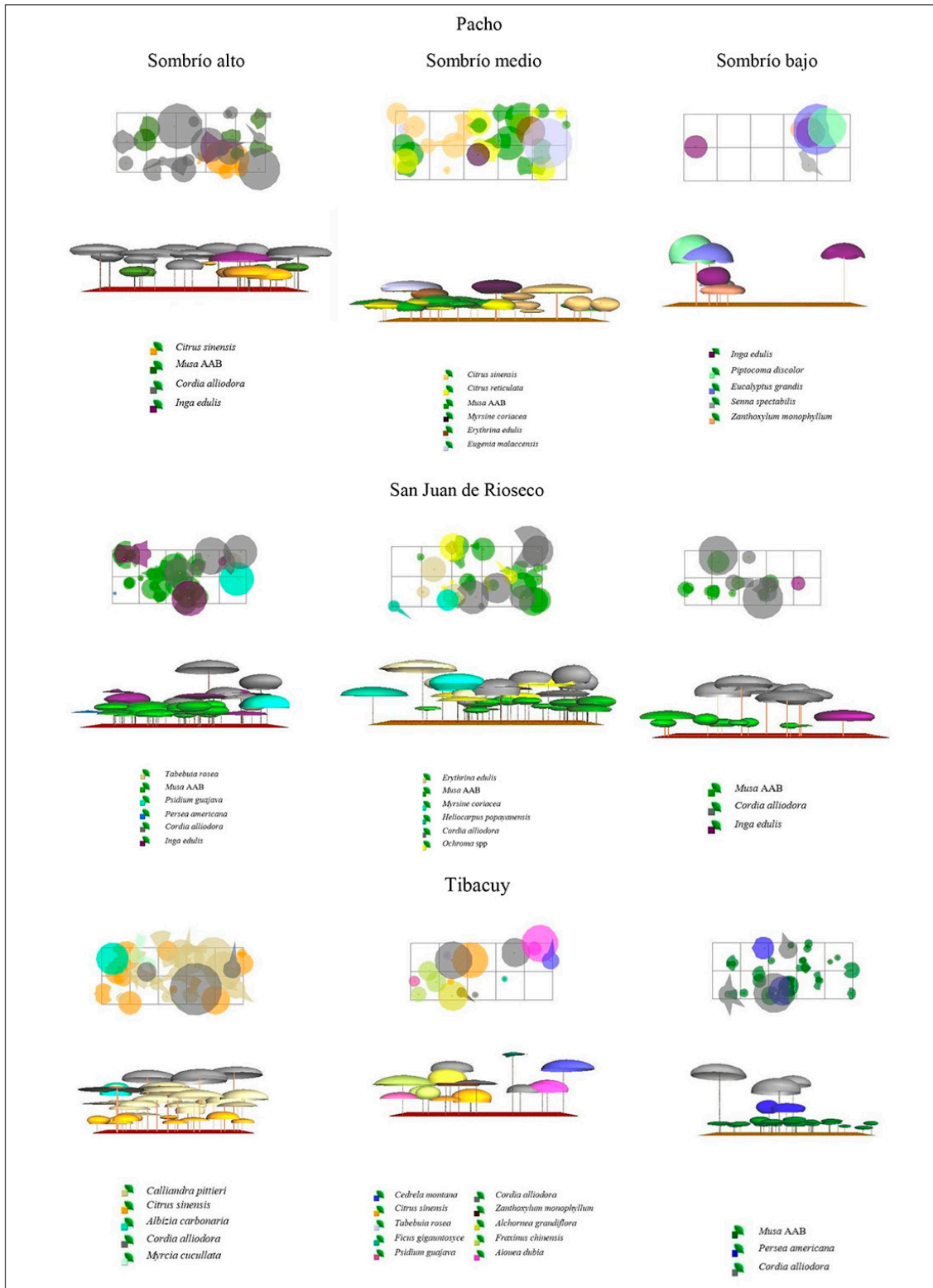
En San Juan de Rioseco en cafetales con SB se encontraron dos estratos en el dosel de sombra, uno superior con presencia de *Cordia alliodora* (10-14 m) y el inferior conformado por *Inga edulis* y *Musa AAB* (2,7-10 m). En cafetales con SM el estrato superior lo conformaron *Erythrina edulis*, *Cordia alliodora* (6-14 m) y el inferior *Ochoroma spp* y *Musa AAB* (3,2-11m). En cafetales con SA en el estrato superior se encontró a *Cordia alliodora* (11-18 m) con individuos en diferentes estados de desarrollo, un estrato medio con *Psidium guajava* y *Persea americana* (4-8,3 m) y el estrato inferior con predominancia de *Musa AAB* (3,6-6,7 m) (Figura 1).

En SAF de SB en Tibacuy hubo un dosel superior dominado por *Cordia alliodora* (16-20 m) el estrato medio por *Persea americana* (9-11 m) y el inferior por *Musa AAB* (2,6-5,5 m). En cafetales de SM el estrato inferior estuvo conformado por *Psidium guajava*, *Citrus sinensis* y *Tabebuia rosa* (5,2-7,6 m); el estrato medio fue dominado por *Fraxinus chinensis* y *Aiouea dubia* (8,2-10,8 m) y el superior por *Cedrela montana* y *Cordia alliodora* (11-16 m). En el SAF de SA los tres estratos del dosel de sombra se diferencian con mayor claridad, en el superior predomina *Cordia alliodora* (20-22 m), en el estrato medio *Calliandra pittieri* (6,4-16 m) y en el inferior *Citrus sinensis* (4-6,8 m) (Figura 1).

En los SAF de los tres municipios no existe una distribución homogénea de la sombra en el terreno, lo cual es más evidente en sistemas de SB en Pacho; a su vez, existe superposición de copas y se evidencia una mayor complejidad en la estructura vertical del SAF de SA en Tibacuy con tres estratos bien diferenciados y con una mayor altura total con respecto a los otros SAF estudiados (Figura 1). Adicionalmente, en los SAF con SA de los tres municipios y de SM en Tibacuy y San Juan de Rioseco los niveles de sombra son mayores al 40%, por encima de los cuales estudios han concluido que la tasa fotosintética y la producción de café disminuye (BOTERO JARAMILLO *et al.*, 2010; FARFÁN; BAUTE, 2010; ZAPATA ARANGO; ANDRADE CASTAÑEDA; NIETO ABRIL, 2017) (Figura 1).

Figura 1 – Estructura del dosel de sombra de cafetales de tres municipios de Cundinamarca, Colombia.

Figure 1 – Structure of the shade canopy of coffee plantations in three municipalities of Cundinamarca, Colombia.



Fuente: ZAPATA (2017)

Conclusiones

Las especies arbóreas de mayor importancia ecológica en los SAF de café fueron *Citrus sinensis*, *Calliandra pittieri*, *Inga edulis* y *Cordia alliodora*, lo cual estaría relacionado con las preferencias de los productores por estas especies debido a interacciones biofísicas, ambientales y/o económicas favorables, al asociarlas con el café.

En San Juan de Rioseco, en cafetales con SM y SB fue evidenciado un mayor desbalance en la composición del dosel de sombra, con predominancia de la especie *Inga edulis*, mientras que en SAF de SA en Tibacuy existe una mayor complejidad en la estructura vertical, con tres estratos bien diferenciados y con una mayor altura total con respecto a los otros SAF estudiados.

Los mayores porcentajes de sombra en SAF de SA en San Juan de Rioseco estuvieron relacionados a la cobertura arbórea y a una alta densidad de plátano en estos sistemas, factores que deben ser manejados garantizando una distribución homogénea de la sombra en el terreno con niveles hasta de 40%, pues por encima de estos se ha demostrado que la producción disminuye.

En el diseño e implementación de SAF se deben analizar cuidadosamente las características ecológicas de las especies, así como los posibles beneficios productivos y ambientales que proporcionen, de manera que la selección de especies y los arreglos espaciales en SAF respondan a las características del sitio y a los objetivos del productor.

Agradecimientos

A los 45 caficultores de los tres municipios por facilitar el acceso a sus fincas y apoyar el desarrollo del proyecto y a todo el personal técnico por su colaboración en el desarrollo de la investigación. Este trabajo se realizó en el marco del Convenio 009 de 2014 suscrito entre la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A y el departamento de Cundinamarca, donde participaron como instituciones aliadas la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca y la Corporación Latinoamericana Misión Rural. Fue Financiado con recursos del Sistema General de Regalías-Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia.

Referencias

ALCALDÍA DE PACHO. **Plan de desarrollo 2016-2019 “Oportunidades y progreso para todos”**. 2016. Disponible en: <http://www.pacho-cundinamarca.gov.co/Nuestros_planes.shtml>. Acceso en: 12 jun. 2016.

ALCALDÍA DE SAN JUAN DE RIOSECO. **Plan de desarrollo 2016-2019 “Trabajo con honestidad y vocación de servicio”**. 2016. Disponible en: <http://www.sanjuanderioseco-cundinamarca.gov.co/Nuestros_planes.shtml>. Acceso en: 12 jun. 2016.

ALCALDÍA DE TIBACUY. **Plan de desarrollo 2016-2019 “Porque Tibacuy avanza”**. 2016. Disponible en: <http://www.tibacuy-cundinamarca.gov.co/Nuestros_planes.shtml?apc=gbxx-1-&x=2646813>. Acceso en: 09 jun. 2016.

ALVARADO, G.; POSADA SUÁREZ, H. E.; CORTINA GUERRERO, H. A. **Castillo**: nueva variedad de café con resistencia a la roya. Chinchiná: Cenicafe Avances Técnicos, 2005.

ATANGANA, A. *et al.* **Tropical agroforestry**. Netherlands: Springer, 2014. 380 p.

BERNAL, R. *et al.* **Amarillo yema de huevo (*Aiouea dubia*)**. Nombres Comunes de las Plantas de Colombia. 2012. Disponible en: <[http://www.biovirtual.unal.edu.co/nombrescomunes/buscador/bnc_plants/lema/t:lema/q:amarilloyemadehuevo/q1:Aiouea dubia](http://www.biovirtual.unal.edu.co/nombrescomunes/buscador/bnc_plants/lema/t:lema/q:amarilloyemadehuevo/q1:Aiouea%20dubia)>. Acceso en: 09 jun. 2016.

AUSTRALIAN NATIVE PLANTS SOCIETY. ***Pittosporum undulatum***. 2016. Disponible en: <<http://anpsa.org.au/p-und.html>>.

- BOTERO JARAMILLO, C. *et al.* La producción y el crecimiento vegetativo de los árboles de café bajo niveles de fertilización y sombra. **Scientia Agricola**, São Paulo, v. 67, n. 6, p. 639-645, 2010.
- CONVENTION OF INTERNATIONAL TRADE ENDANGERED. **Apéndices I, II y III**. 2017. Disponible en: <<https://www.cites.org/eng/app/appendices.php>>. Acceso en: 21 abr. 2017.
- CORDERO, J.; BOSHIER, D. (Ed.). Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Turrialba: OFI; CATIE, 2003. 1079 p.
- CURTIS, J. T.; MCINTOSH, R. P. The interrelations of certain analytic and synthetic phytosociological characters. **Ecology**, Washington, v. 31, p. 434-455, 1950.
- DE BEENHOUWER, M. *et al.* Biodiversity and carbon storage co-benefits of coffee agroforestry across a gradient of increasing management intensity in the SW Ethiopian highlands. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Netherlands, v. 222, n. 15, p. 193-199, 2016.
- DI RIENZO, J. A. *et al.* **InfoStat versión 2014**. Córdoba: Grupo InfoStat; FCA; Universidad Nacional de Córdoba, 2014.
- DUQUE JARAMILLO, J. M. *Aiouea dubia* (Kunth) Mez – **Lauraceae**. Colombia: Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, 2012. Disponible en: <<http://www.biovirtual.unal.edu.co/ICN/?controlador=ShowObject&accion=show&id=618589>>. Acceso en: 09 jun. 2016.
- FARFÁN, F.; BAUTE, J. E. Efecto de la distribución espacial del sombrío de especies leguminosas sobre la producción de café. **Cenicafé**, Colombia, v. 61, n. 1, p. 35-45, 2010.
- FARFÁN, F.; URREGO, J. Comportamiento de las especies forestales *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis* como sombrío e influencia en la productividad del café. **Revista Cenicafé**, Colombia, v. 55 n. 4, p. 317-329, 2004.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. *Área cultivada con café según exposición solar - Estadísticas históricas*. 2016. Disponible en: <http://www.federaciondecafeteros.org/particulares/es/quienes_somos/119_estadisticas_historicas>. Acceso en: 10 jun. 2016.
- FRAZER, G. W.; CANHAM, C. D.; LERTZMAN, K. P. **Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0**: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs. New York: British Columbia; Simon Fraser University and the Institute of Ecosystem Studies, 1999.
- GARCÍA, E. **Estructura y diversidad arbórea en sistemas agroforestales de café en la Sierra de Atoyac, Veracruz**. 2014. 70 f. Trabajo de grado (Maestría) - Colegio de Posgraduados, Texcoco, 2014.
- GOODALL, K.; BACON, C.; MENDEZ, E. Shade tree diversity, carbon sequestration, and epiphyte presence in coffee agroecosystems: A decade of smallholder management in San Ramón, Nicaragua. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Netherlands, v. 199, p. 200-206, 2015.
- HERNÁNDEZ MARTÍNEZ, G.; MANSON, R.; CONTRERAS HERNÁNDEZ, A. Quantitative classification of coffee agroecosystems spanning a range of production intensities in central Veracruz, México. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Netherlands, v. 134 n. 1/2, p. 89-98, 2009.
- LASCO, R. *et al.* Climate risk adaptation by smallholder farmers: the roles of trees and agroforestry. **Current Opinion in Environmental Sustainability**. Netherlands. v. 6, p. 83-88, 2014.
- LEIVA GRANADOS, E. **Efectos del marco político y legislativo en el aprovechamiento de la madera de sistemas agroforestales del Municipio de El Cuá, Nicaragua**. 2011. 161 f. Trabajo de grado (Maestría) - CATIE, Costa Rica, 2011.

MÉNDEZ, E. *Aiouea dubia* (Kunth) Mez – *Lauraceae*. Colombia: Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, 2008. Disponible en: <<http://www.biovirtual.unal.edu.co/es/coleccion/detail/347671/>>. Acceso en: 20 jul. 2016.

MONTAGNINI, F. Función de los sistemas agroforestales en la adaptación y mitigación del cambio climático. En: MONTAGNINI, F. *et al.* **Sistemas agroforestales: funciones productivas, socioeconómicas y ambientales**. Turrialba: Editorial CIPAV, 2015. 454 p. (Serie técnica. Informe técnico, 402).

MORENO BERROCAL, A. M.; HERNÁNDEZ GUZMÁN, E.; LÓPEZ, F. **Plátano dominico hartón intercalado con café: más ingresos para los caficultores**. Chinchiná: Cenicafé Avances Técnicos, 2004.

ORGANIZACIÓN PARA LA EDUCACIÓN Y PROTECCIÓN AMBIENTAL. **Jazmín del cabo - *Pittosporum undulatum***. 2016. Disponible en: <http://www.opepa.org/index.php?option=com_content&task=view&id=408&Itemid=30>. Acceso en: 20 jul. 2016.

ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. **El Estado de los bosques del mundo 2016**. 2016. Disponible en: <<http://www.fao.org/3/a-i5588s.pdf>>. Acceso en: 18 nov. 2017.

RAPIDEL, B. *et al.* Efectos ecológicos y productivos del asocio de árboles de sombra con café en sistemas agroforestales. En: MONTAGNINI, F. *et al.* **Sistemas agroforestales: funciones productivas, socioeconómicas y ambientales**. Turrialba: Editorial CIPAV, 2015. 454 p. (Serie técnica. Informe técnico, 402).

REED, *et al.* Trees for life: the ecosystem service contribution of trees to food production and livelihoods in the tropics. **Forest Policy and Economics**. Netherlands, v. 84, p. 62-71, 2017.

SÁNCHEZ, L. M.; BOTERO, J. E.; VÉLEZ, J. G. Estructura, diversidad y potencial para conservación de los sombríos en cafetales de tres localidades de Colombia. **Revista Cenicafé**, Chinchiná, v. 58, n. 4, p. 304-323, 2007.

SERRANO, J.; ANDRADE, H.; MORA, J. Caracterización de la cobertura arbórea en una pastura del trópico seco en el Tolima, Colombia. **Agronomía Mesoamericana**, Costa Rica, v. 25 n. 2, p. 99-110, 2014.

SISTEMA DE INFORMACIÓN SOBRE LA BIODIVERSIDAD EN COLOMBIA. **Biodiversidad en cifras**. 2016. Disponible en: <<https://www.sibcolombia.net/biodiversidad-en-cifras/>>. Acceso en: 18 nov. 2017.

SOTO, P. L. *et al.* Woody plant diversity and structure of shade-grown-coffee plantations in Northern Chiapas, México. **Revista Biología Tropical**, Costa Rica, v. 49, n. 3/4, p. 977-987, 2001.

YEPES, C. *et al.* Selección de especies para sombra en cafetales diversificados de Chiapas, México. **Agroforestería en las Américas**, Turrialba, v. 9, p. 35-36, 2003.

VALLE, G. **Manual agroforestal del Inga**. 2010. Disponible en: <<http://www.rainforestsaver.org/es/manual-agroforestal-del-inga>>. Acceso en: 15 ago. 2016.

VILLAVICENCIO ENRÍQUEZ, L.; VALDEZ HERNÁNDEZ, J. Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rusticano de café en San Miguel, Veracruz, México. **Agrociencia**, México, v. 37, p. 413-423, 2003.

WORLD AGROFORESTRY CENTRE. **SEXI-FS versión 2.1.1**. 2009. Disponible en: <<https://www.worldagroforestry.org/output/sexi-fs/download>>. Acceso en: 20 feb. 2017.

ZAPATA ARANGO, P. C.; ANDRADE CASTAÑEDA, H. J.; NIETO ABRIL, Z. K. Comportamiento ecofisiológico del cafeto (*Coffea arabica* L.) CV. Castillo en sistemas agroforestales de Tibacuy, Cundinamarca. **Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica**, Colombia, v. 20, n. 1, p. 61-70, 2017.