

ESTRUCTURA, DIVERSIDAD Y POTENCIAL PARA CONSERVACIÓN DE LOS SOMBRÍOS EN CAFETALES DE TRES LOCALIDADES DE COLOMBIA

Lina María Sánchez-Clavijo*; Jorge E. Botero-Echeverri**; Juan Gonzalo Vélez***

RESUMEN

SÁNCHEZ C., L.M.; BOTERO E., J.E.; VÉLEZ, J.G. Estructura, diversidad y potencial para conservación de los sombríos en cafetales de tres localidades de Colombia. *Cenicafé* 58(4): 304-323.2007.

Se estudiaron la estructura y diversidad florística de los sombríos en cafetales de El Cairo (Valle del Cauca), Támesis (Antioquia) y Páramo, Pinchote, Socorro y San Gil (Santander). En cada localidad se instalaron 32 parcelas de 200m² donde se contaron e identificaron los individuos de hábito arbóreo. Se encontraron 48 especies de plantas, la mayoría nativas, e incluso algunas clasificadas como de interior de bosque. Los contrastes en origen y manejo han llevado a sombríos diferentes, en cada localidad. Se destacan los cafetales de Santander por tener sombríos más densos, diversos y heterogéneos, mientras que en El Cairo y Támesis están altamente dominados por una o dos especies. En Santander se cumplen la mayoría de requisitos para acceder a las certificaciones ambientales, mientras que en las otras dos localidades son necesarios procesos de enriquecimiento de los sombríos con especies forestales nativas. Aunque se encontró una alta variabilidad en algunos de los parámetros medidos de estructura y diversidad, para desarrollar el potencial de los sombríos como herramienta de conservación es necesario que en cada región se acumulen muchos lotes con las características deseadas. Los incentivos necesarios para estas transformaciones pueden surgir de valoraciones adecuadas del aporte que hacen los sombríos diversos y heterogéneos a la conservación de la biodiversidad en las zonas cafeteras del país.

Palabras clave: Café bajo sombra, biodiversidad, certificaciones ambientales, Antioquia, Santander, Valle del Cauca.

ABSTRACT

We studied the structure and floristic diversity of shade in coffee plots from El Cairo (Valle del Cauca), Támesis (Antioquia), Páramo, Pinchote, Socorro and San Gil (Santander). We counted and identified all individuals belonging to arboreal species in 32 plots, of 200 m² each, per study site. We found 48 tree species, mostly native, and even some classified as forest interior species. Differences in origin and management in each location result in different shade types: coffee plots in Santander have more dense, diverse and heterogeneous shade; while shade in El Cairo and Támesis is mostly dominated by one or two species. Shade in Santander meets the majority of standards required to obtain environmental certifications; in the other two locations there is a need to enrich shade using native trees. Despite high variability in some of the measured structure and diversity variables, to develop the shade's potential as a true tool for conservation it is necessary to accumulate the desired characteristics in many plots within each region. The incentives needed for this transformation to take place may arise from adequate valuations of the contributions that diverse and heterogeneous shade makes to biodiversity conservation in the countries' coffee growing regions.

Keywords: Shade coffee, biodiversity, environmental certifications, Colombia, Antioquia, Santander, Valle del Cauca.

* Ecóloga. Profesional. Programa Biología de la Conservación, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

** Investigador Científico III, Programa Biología de la Conservación, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

*** Biólogo, Botánico. Profesional. Programa Biología de la Conservación (hasta 2004), Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

La conservación de la biodiversidad se ha convertido en un aspecto cada vez más importante dentro del debate acerca de las ventajas y desventajas de cultivar el café bajo sombra (6, 25, 55, 56, 59). Actualmente, con la adopción de sistemas agroforestales, de buenas prácticas agrícolas y/o de certificaciones en la caficultura, se busca aprovechar nuevas oportunidades y tendencias en los mercados para generar sostenibilidad ambiental, económica y social a mediano y largo plazo (26, 27, 56); por medio de la creación de incentivos económicos y culturales para la protección de la biodiversidad, mediante productos como los cafés de sombra y/o amigables con la biodiversidad (40, 60, 62). Los sellos otorgados por *Rainforest Alliance* (63) y por el Centro de Aves Migratorias del Smithsonian Institution (sello *Bird-Friendly*) (43), garantizan que el café proviene de cultivos en donde el sombrío cumple con las características de estructura y diversidad que potencian la conservación de la fauna y flora asociada (73). Los principales criterios evaluados por estas certificaciones son: variedad y representación de especies de árboles nativos, dominancia y fenología de la especie principal (*backbone specie*), densidad, cobertura, estratificación vertical y altura del sombrío (26, 43, 63, 73). A pesar del potencial de estas certificaciones y de la coincidencia de las regiones cafeteras colombianas con áreas de alta diversidad y endemismo (6), existen pocos estudios que evalúen la estructura y la composición de los sombríos desde la perspectiva de la conservación (39).

La evolución histórica de la caficultura colombiana ha traído consigo cambios en la valoración de los sombríos, que pasaron de ser un acompañamiento obligatorio del cultivo de café a ser necesarios sólo en aquellas localidades con factores restrictivos para la producción a libre exposición (deficiencias hídricas, altas radiaciones solares, pendientes

escarpadas y suelos pobres en nutrientes), en donde el sombrío no implique pérdidas en la productividad, y donde se seleccionan las especies según los bienes y servicios esperados (25, 33, 34, 36, 68). Dentro de los estudios adelantados por Cenicafé para determinar las ventajas, las desventajas y el manejo que se le debe dar a los cafetales con sombrío (25, 51, 52) se ha evaluado el efecto de la sombra sobre distintas características del suelo (11, 12, 13, 14, 65), se ha comparado el microclima y el ciclaje de nutrientes en bosques, los cafetales con sombra y a libre exposición (25, 38, 45, 47, 48, 49, 50), así mismo, se han realizado experimentos para determinar los niveles de densidad y fertilización de los cafetales con sombrío (25, 28, 29, 30, 31, 54) y se han establecido ensayos con diferentes especies forestales (18, 25, 32). Las variables de respuesta en la mayoría de estos estudios están relacionadas directamente con la producción y se pueden cuantificar económicamente (25), pero algunos estudios intentan hacer una valoración de aquellas “bondades intangibles” (18), cuyo precio es difícil de calcular. La conservación de la biodiversidad hace parte de estos beneficios hasta ahora poco evaluados en los cafetales con sombra de Colombia.

La literatura acerca de la diversidad asociada a cultivos de café en Colombia incluye principalmente listas taxonómicas y descripciones de especies en localidades puntuales (6, 7, 8, 9, 15, 16, 58, 70, 71). Gómez (39) realizó una caracterización detallada de las plantas y las aves en sombríos de Santander, para comparar aquellos sin certificación y con certificación *Rainforest* y/o Orgánica. En cuanto a estudios de vegetación en los sombríos de otros países existen dos corrientes: la mayoría de investigaciones se interesan en unas pocas variables de la vegetación que se relacionan con estudios intensivos de la fauna asociada y otros estudios comprenden caracterizaciones botánicas de los sombríos

en cafetales rústicos (originados a partir de bosques) (3, 55, 66). Un énfasis más reciente y complejo lo aportan estudios que pretenden hallar las relaciones entre la estructura de la vegetación, la biodiversidad y la rentabilidad de los cultivos (40, 60, 62, 74).

El objetivo de esta investigación es llenar algunos de estos vacíos, describiendo y comparando la estructura y diversidad florística de los sombríos en cafetales de tres localidades del país, teniendo en cuenta los criterios de las certificaciones ambientales y evaluando el potencial de cada localidad, en cuanto a la conservación de la biodiversidad asociada al sistema productivo cafetero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Áreas de estudio. Se eligieron paisajes dominados por café cultivado bajo sombra, en tres localidades del país (El Cairo, Támesis y Santander). Aunque las tres localidades hacen parte de la llamada “zona cafetera” están en tres regiones biogeográficas diferentes, con distintas condiciones de clima y suelos (Tabla 1). A pesar de compartir el mismo tipo de matriz del paisaje, no tienen los mismos contextos paisajísticos, lo cual puede afectar el papel de los sombríos en la conservación de la biodiversidad en cada región.

La caficultura de las tres áreas de estudio presenta potencialidades importantes en conservación. La zona cafetera de El Cairo está localizada dentro del Corredor de Conservación Chocó-Manabí, que pretende conectar dos áreas protegidas de la Cordillera Occidental, el Parque Nacional Natural Tatamá y la Serranía de los Paraguas (2, 21). En esta zona se produjo “Café de Conservación” y actualmente se está produciendo café Orgánico y café certificado *Rainforest Alliance*. En Támesis se han adoptado prácticas orgánicas para el cultivo del café, se conservan varios

remanentes de bosque andino, por encima de los 2.000m, y los cafetales de la vereda La Virgen han sido declarados como un “área de importancia de conservación para las aves” (IBA por sus siglas en inglés, *Important Bird Area*) (5, 23). En Santander, la estacionalidad climática ha obligado a que se conserven los sombríos tradicionales, densos y heterogéneos, lo que ha llevado a que se convierta en uno de los departamentos con mayor área actual y potencial certificada bajo el sello *Rainforest* (37, 39).

Recolección de datos. Durante el año comprendido entre marzo de 2003 y 2004, el equipo de paisajes rurales del Programa de Biología de la Conservación de Cenicafé, realizó la caracterización de las plantas, aves y hormigas, en los elementos de paisaje representativos en estas tres localidades. En cada localidad se seleccionó un área de 25km² y se dividió en ocho segmentos de igual tamaño (53). Para la caracterización de la vegetación de los cafetales con sombrío se estudió un área de 800m² por segmento, dividida en cuatro parcelas dispuestas en parejas paralelas (Figura 1).

En cada parcela se identificaron y contabilizaron todos los individuos cuyo diámetro a 1,30m de altura fuera igual o mayor a 2,5cm, o igual o mayor a 0,5cm en individuos con alturas entre 0,5 y 1,3m. Se recolectaron muestras de todas las especies, y aquellas que no se pudieron identificar en el campo fueron determinadas posteriormente en el Herbario de la Universidad de Antioquia (HUA), utilizando las bases de datos de los Jardines Botánicos de Missouri (MO) y Nueva York (NY). Se depositaron muestras de todos los especímenes en las colecciones de los herbarios de la Universidad de Antioquia y del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (FMB). Adicionalmente, en cada parcela se midió el diámetro normal (a 1,3 ó 0,5m según el

Tabla 1. Localización, características bióticas, abióticas, de paisaje, agrícolas y de conservación, de las tres localidades donde se llevó a cabo el estudio.

	Municipio		
	El Cairo	Támesis	Páramo, Pinchote, Socorro
Departamento (sector)	Valle del Cauca (NW)	Antioquia (SW)	Santander (SE)
Coordenadas geográficas	4°45'N - 76°14'W	5°40'N - 75°43'W	6°29'N - 73°13'W
Región biogeográfica (57)	Bosques montanos de los Andes Noroccidentales	Bosques montanos del Valle del Cauca	Bosques montanos del Valle del Magdalena
Cordillera (vertiente)	Occidental (Occidental)	Occidental (Oriental)	Oriental (Occidental)
Altitud de las fincas	1.330-1.700m	1.530-1.850m	1.630-1.750m
Tipo de suelos	Arcillo-arenosos	Arcillo-arenosos	Arcillo-arenosos
Temperatura media anual (46)	19,5°C	21°C	20°C-22°C
Precipitación total anual (46)	1.436mm	2.304mm	1.193-1.732mm
Patrón de lluvias (35)	Bimodal	Bimodal	Bimodal/monomodal
Picos de lluvia (35)	Octubre/Abril (180/160mm)	Octubre/Mayo (320/250mm)	Abril/Octubre (215/190mm)
Temporadas secas (35)	Enero/Julio (75/80mm)	Enero/Agosto (90/150mm)	Enero/Julio (20/130mm)
Matriz del paisaje	Café bajo sombra	Café bajo sombra	Café bajo sombra
Vegetación natural	Fragmentos de bosque secundario	Rastrojos altos	Rastrojos altos
Potreros	Potreros con rastrojos bajos y potreros limpios	Potreros arbolados y potreros con rastrojos bajos	Potreros arbolados y potreros con rastrojos bajos
Elementos lineales	Café bajo sombra en cañadas	Cercas vivas	Cercas vivas
Otros cultivos	Caña panelera	Cafetales a libre exposición	-
Área en café (1993) (46)	4.792 ha	4.021 ha	943, 1.281, 1.786 ha
Otras actividades agrícolas (46)	Caña panelera, banano, mora, arroz, maíz y ganadería	Plátano, caña panelera, cacao y ganadería	Maíz, tomate, frijol, caña, cítricos y ganadería

caso) de todos los individuos y se tomaron seis registros de altura del dosel a 0, 10, 20, 30, 40 y 50m de distancia sobre uno de los lados verticales de la parcela (Figura 1).

Para la descripción de los sombríos en este trabajo se tuvieron en cuenta únicamente aquellos individuos pertenecientes a especies de hábito arbóreo, lo cual excluye a los individuos del cultivo de plátano (*Musa* sp.) asociado al café, y a algunas especies de arbustos que crecen en los estratos intermedios de los cafetales.

La unidad de análisis estuvo constituida por los cafetales con sombra (CS), de los que se seleccionaron ocho réplicas por localidad. Sin embargo, en El Cairo se describió una unidad adicional, cafetales con sombra en cañada (CSC), que corresponden a cultivos lineales sembrados en áreas ocupadas previamente por vegetación de borde de cañada. Por tanto, se describen y comparan cuatro sombríos diferentes.

Análisis de datos. Se analizaron los datos de estructura (composición y fisionomía) y diversidad en tres categorías diferentes: **general**, a partir de la lista total de las especies encontradas en el estudio, **regional** a partir de la información de cada uno de los cuatro sombríos, y **local** a partir de la información para cada réplica de los sombríos.

Para comparar la estructura en cuanto a la composición de los cuatro sombríos, se realizó un análisis de agrupamiento para lo cual se utilizó el índice de afinidad de Morisita-Horn para construir un dendrograma con el algoritmo de emparejamiento de grupos en PAST (44); este procedimiento compara las muestras usando la información de abundancia relativa de cada especie. Para completar el análisis se calculó la abundancia relativa de la especie dominante en cada sombrío (Índice de Berger-Parker), y de las cuatro especies siguientes. Esto permite examinar qué tan homogéneos son los sombríos.

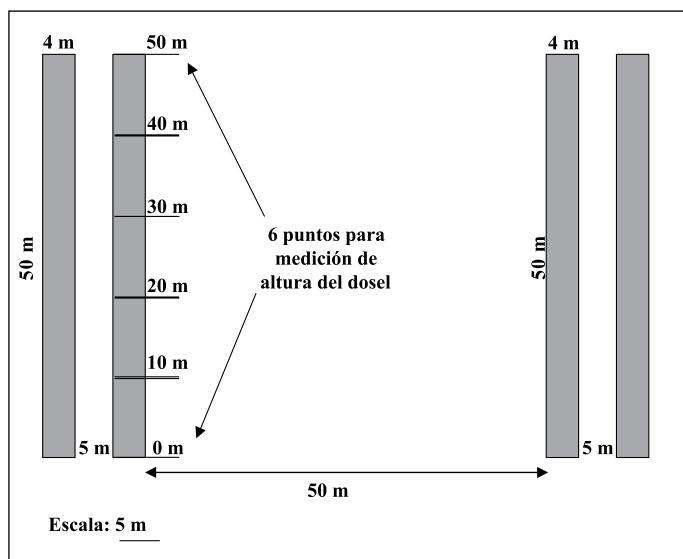


Figura 1. Esquema de una estación de muestreo de vegetación, en cultivos de café bajo sombra.

A pesar de que el arreglo productivo café-plátano quedó excluido de los análisis, es bastante común en algunas localidades y su presencia afecta variables como la densidad del sombrío. Por tanto, se compararon la frecuencia (número de parcelas en las que estaba presente) y la abundancia (número total de individuos) de *Musa* sp. en los cafetales estudiados.

Para comparar la estructura en cuanto a fisionomía se utilizaron la densidad de individuos por hectárea (calculada a partir de extrapolaciones de la abundancia en cada parcela), el diámetro normalizado (promedio en centímetros, por parcela) y la altura del dosel (promedio a partir de los seis puntos evaluados por parcela). Se compararon la densidad (D) y el diámetro (d) entre sombríos, por medio de la estimación de los intervalos de confianza al 95%, para evaluar la significancia de las diferencias, entre los promedios por parcela (n=32). Para buscar diferencias en la altura (h) se realizó una prueba de Kruskal-Wallis. La equitabilidad, como medida de uniformidad de los individuos que representan cada especie, se calculó con la fórmula de Pielou, basada en el índice de diversidad de Shannon, utilizando PAST (44). Las diferencias en riqueza (S) y equitabilidad (E) por parcela se compararon con el mismo procedimiento utilizado para la densidad y el diámetro.

Se comparó la diversidad de los cuatro sombríos directamente con el número total de especies. Sin embargo, debido a la importancia que pueden tener las diferencias en número y proporción de individuos por especie en esta medida, también se calculó la riqueza esperada con el estimador no-paramétrico Chao 1 (19), utilizando el software EstimateS (20). Este índice permitió calcular el porcentaje de representatividad, como la razón entre la riqueza observada y la esperada. Según Villarreal *et al.* (72) un

valor igual o mayor al 85% permite hacer comparaciones adecuadas. Para comparar estadísticamente la diversidad de especies entre los cuatro sombríos se utilizó EstimateS para reorganizar los resultados 100 veces al azar, y estimar la riqueza observada con la fórmula de Mao Tau (20), después se construyeron curvas de rarefacción basadas en las muestras, mostrando los intervalos de confianza de 95%, y se corrigió el eje x para que reflejara el número de individuos (41, 62). Finalmente, se determinaron el número de especies exclusivas (no encontradas en los demás sombríos) y el número de especies del que se encontró más del 1% de los individuos, como medidas adicionales de diversidad.

RESULTADOS

Composición. En la lista total de especies encontradas en este estudio, la gran mayoría (39 especies que representan más del 80%) hacen parte de la flora nativa de las regiones cafeteras, y además de formar parte de los sombríos pueden encontrarse en estado silvestre en otros hábitats. Las especies restantes han sido introducidas de otras regiones de América y del resto del trópico para su uso ornamental, protector y comestible (Figura 2).

El agrupamiento según el índice de afinidad de Morisita-Horn muestra que los sombríos de las tres localidades estudiadas son diferentes en su estructura por especies (afinidad menor a 0,5). Los sombríos de Santander son los más diferenciados, mientras que la mayor semejanza ocurre entre los dos tipos de sombrío de El Cairo (afinidad de 0,73 en rango semejante) (Figura 3).

Los sombríos plantados suelen tener una especie principal (*backbone specie*) que es la más abundante y que determina la estructura del dosel y del sombrío en general (43). Esta especie fue distinta para cada localidad y su

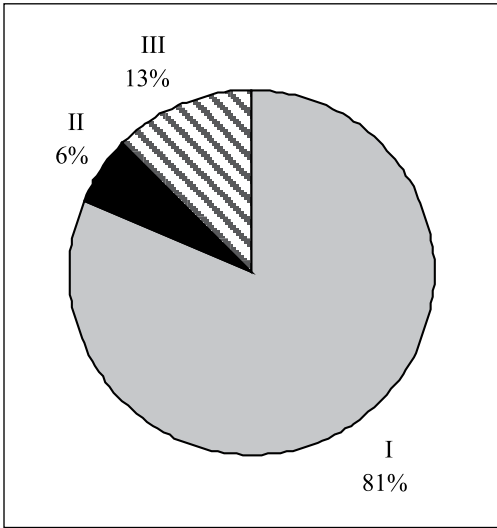


Figura 2. Composición de las especies encontradas según su origen y uso (Categoría I: especies nativas que se encuentran en estado silvestre, II: especies principales de los sombríos, III: especies plantadas para sombríos y/o frutales).

abundancia relativa dentro de los sombríos varió del dominio de más del 70% de los individuos de *Inga codonantha* en los cafetales convencionales de El Cairo, hasta menos del 30% de individuos de *Inga edulis* en Santander, con valores intermedios para *Cordia alliodora* en Támesis (casi 60%) y para *I. codonantha* en los cafetales en cañada, de El Cairo (cerca a 40%). Respecto a las cuatro especies que siguen en abundancia, se destaca que en los cafetales en cañada de El Cairo, la segunda especie, *Montanoa quadrangularis*, tiene casi la misma abundancia relativa que la primera. En El Cairo y en Támesis los sombríos son más homogéneos, y con sólo cinco especies se tiene más del 90% de los individuos encontrados. Esto contrasta con los sombríos de Santander, que son más heterogéneos, y en donde las especies diferentes a las cinco más abundantes están representadas por casi el 40% de los individuos (Tabla 2, Figura 4). La abundancia y la frecuencia del plátano (*Musa* sp.) son

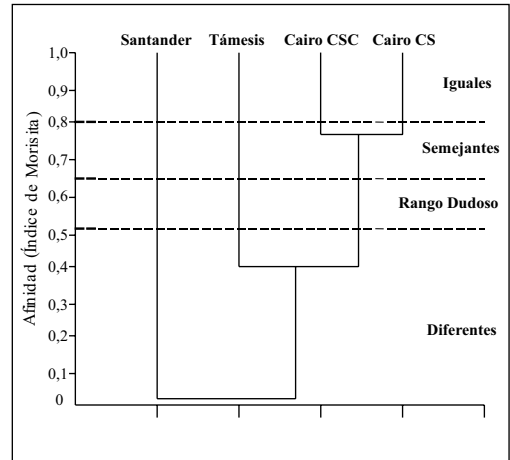


Figura 3. Agrupamiento por afinidad en la composición de los sombríos. Rangos de interpretación según Ramírez (64): $0 \leq a < 0,5$ comunidades diferentes, $0,5 \leq a < 0,65$ comunidades con afinidad dudosa, $0,65 \leq a < 0,8$ comunidades semejantes, $0,8 \leq a \leq 1$ comunidades iguales (CSC: Café con sombra en cañada, CS: Café con sombra).

mayores en los sombríos más homogéneos, especialmente en los cafetales convencionales de El Cairo, y es muy baja en los sombríos heterogéneos de Santander (Tabla 3).

Fisionomía. De los parámetros medidos, sólo se encontraron diferencias significativas en la densidad, que es casi el doble en los sombríos de Santander (680 individuos por hectárea) que en los otros tres sombríos (alrededor de 360). El promedio del diámetro de todos los individuos en cada parcela estuvo alrededor de 20cm y la altura alrededor de 9,5m, sin presentar diferencias entre localidades. La variación entre sombríos en distintos lotes de la misma localidad muestra otros patrones. En cuanto a la densidad y el promedio del diámetro, el coeficiente de variación entre cafetales en El Cairo es mayor del 60% vs. el 40% o menos en las otras dos localidades, mientras que la variación en altura es mayor en Támesis y Santander (alrededor de 30% vs. 18% en El Cairo) (Tabla 4).

Tabla 2. Identidad y abundancia relativa (AR%) de las cinco especies más abundantes en los sombríos estudiados (CS: Café con sombra, CSC: Café con sombra en cañada).

	Cairo CS	AR%	Cairo CSC	AR%	Támesis CS	AR%	Santander CS	AR%
1	<i>Inga codonantha</i>	72,77	<i>Inga codonantha</i>	41,84	<i>Cordia alliodora</i>	58,85	<i>Inga edulis</i>	28,05
2	<i>Montanoa quadrangularis</i>	8,04	<i>Montanoa quadrangularis</i>	39,75	<i>Inga codonantha</i>	30,86	<i>Trichanthera gigantea</i>	16,09
3	<i>Inga densiflora</i>	6,25	<i>Inga densiflora</i>	3,77	<i>Persea americana</i>	5,35	<i>Cupania americana</i>	8,28
4	<i>Inga edulis</i>	3,57	<i>Allophylus</i> sp. 1	2,93	<i>Cecropia peltata</i>	1,23	<i>Alchornea grandiflora</i>	5,52
5	<i>Allophylus</i> sp. 1, <i>Persea americana</i> o <i>Trema micrantha</i>	1,79	<i>Alchornea grandiflora</i> , <i>Annona muricata</i> o <i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	2,09	<i>Inga densiflora</i>	1,23	<i>Erythrina poeppigiana</i>	4,37
Total cinco primeras		92,41		90,38		97,53		62,30

Tabla 3. Abundancia total y frecuencia por parcela de *Musa* sp. en los sombríos estudiados (CS: Café con sombra; CSC: Café con sombra en cañada).

	El Cairo CS	El Cairo CSC	Támesis CS	Santander CS
Abundancia	195	66	69	12
Frecuencia (0-32)	23	10	17	6

Diversidad. Se encontraron 48 especies de plantas que forman parte de los sombríos en los cafetales estudiados en las tres localidades. Estas especies pertenecen a 24 familias, y las más diversas fueron Moraceae (cauchos, higuerones o matapalos, siete especies), Mimosaceae (guamos, seis especies), Myrtaceae (arrayanes y guayabos, cuatro especies), Cecropiaceae (yarumos, tres especies) y Lauraceae (laureles, tres especies) (Tabla 5). Al menos seis de estas especies están descritas como árboles de interior de bosque (*Erythroxylum citrifolium*, *Alchornea grandiflora*, *Persea caerulea*, *Lafoensia acuminata*, *Myrsine coriacea* y *Myrcia*

fallax) (69), a pesar de que tanto éstas como cualquiera de las otras 33 especies nativas, se pueden encontrar en diferentes tipos de sucesiones vegetales, bordes o en cualquier tipo de elemento del paisaje.

Los sombríos de Santander no solo tienen el mayor número total de especies (29 vs. 13-14 en El Cairo y 10 en Támesis), sino que también se encontraron el mayor número de individuos (435 vs. alrededor de 230 en las otras dos localidades), el mayor valor esperado con el estimador Chao 1 (casi 30 especies vs. menos de 20), la mejor representatividad de la muestra (97% vs. 88% en El Cairo y 56%

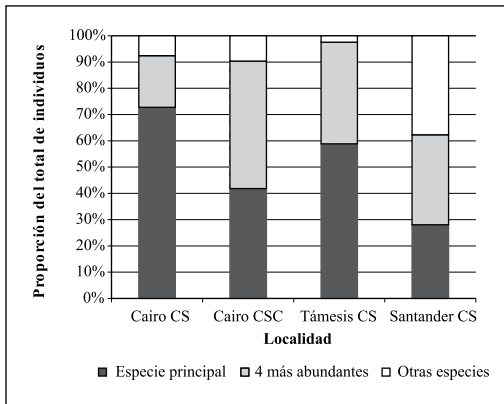


Figura 4. Abundancia relativa de la especie principal y de las cuatro especies más abundantes en los sombríos estudiados (CS: Café con sombra, CSC: Café con sombra en cañada).

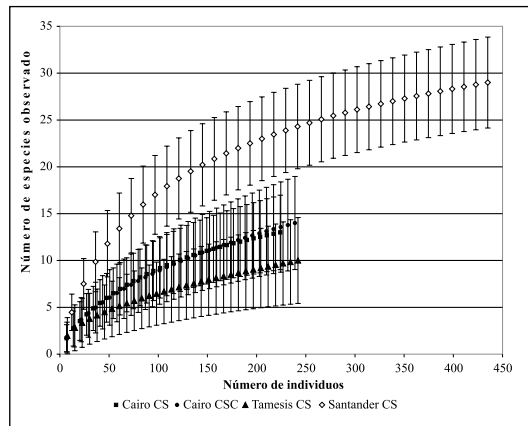


Figura 5. Curva de acumulación de especies de plantas en los sombríos. La rarefacción se hizo utilizando el estimador de MaoTau (EstimateS,20), las barras de error muestran intervalos de confianza del 95% para mostrar diversidades diferenciables (no-traslapadas). CS: Café con sombra, CSC: Café con sombra en cañada.

en Támesis), la mayor cantidad de especies exclusivas (17 no compartidas con las otras localidades vs. 5 a 9) y la mayor cantidad de especies representadas por más del 1% de los individuos encontrados (21 vs. sólo 3 a 7). Los otros tres sombríos están por debajo y su rango varía según el indicador utilizado. Los cafetales en cañada y convencionales de El Cairo, le siguen en número de especies totales, exclusivas y con representación >1%, y en estas muestras también se tuvo una representatividad adecuada. En los sombríos de Támesis se obtuvo el menor número de especies, aunque la representatividad menor al 60% indica que no se obtuvo una muestra muy representativa, y el estimador Chao 1 predice una riqueza más alta que para los sombríos de El Cairo (Tabla 6). Las diferencias de diversidad entre Santander y los otros sombríos son significativas en muestras de más de 70 individuos, con el

95% de confianza. La diversidad acumulada es igual en ambos sombríos de El Cairo, y aunque parece mayor que en Támesis, no existe significancia estadística en estas diferencias (Figura 5).

A nivel local, los patrones de diversidad son iguales. Tanto el promedio del número de especies como el índice de equitabilidad por parcela son significativamente mayores en Santander que en las otras localidades (casi 5 vs. menos de 2 en riqueza, y 0,85 vs. 0,3 a 0,5 en equitabilidad). En ambas variables la dispersión de los datos es mucho menor cuando los promedios son mayores (especialmente en Santander), y se destacan los coeficientes de variación alrededor del 80% en la equitabilidad, y alrededor del 50% en la riqueza para El Cairo y Támesis (Tabla 4).

Tabla 4. Comparación de promedios de variables de estructura y diversidad entre los cuatro sombríos (CS: Café con sombra, CSC: Café con sombra en cañada).

Variable	Localidad/sombrío			
	El Cairo CS	El Cairo CSC	Támesis CS	Santander CS
Densidad (D)				
Promedio (individuos por hectárea)	350 a	373 a	378 a	680 b
C.V. (%)	84,48	110,15	32,73	40,07
Diámetro (d)				
Promedio (cm)	17,31 a	19,02 a	23,44 a	21,08 a
C.V. (%)	69,82	65,81	30,35	32,90
Altura (h)				
Promedio (m)	9,28 a	9,46 a	10,03 a	9,46 a
C.V. (%)	18,05	18,94	33,17	30,49
Riqueza (S)				
Promedio (número de especies)	1,69 a	1,84 a	1,97 a	4,94 b
C.V. (%)	53,08	49,88	47,38	32,10
Equitabilidad (E)				
Promedio	0,34 a	0,50 a	0,52 a	0,85 b
C.V. (%)	113,61	88,93	78,50	14,80

Letras distintas indican diferencias significativas

Intervalos de confianza generados a partir del coeficiente de variación, excepto en el caso de (h) en donde se empleó la prueba de Kruskal-Wallis

DISCUSIÓN

En las tres localidades de estudio se reconocen ventajas de tener el café bajo sombra, y existen además intereses de conservación (22, 23, 24); sin embargo, diferentes procesos han generado sombríos similares en fisionomía (especialmente altura y diámetro) y muy diferentes en diversidad y arreglos de especies. Los criterios de selección de especies, establecimiento y manejo de los sombríos en las zonas cafeteras de Colombia, han sido considerados como una “práctica cultural absolutamente regional” (52), debido a que las interacciones entre las plantas de café y los árboles del sombrío dependen de las condiciones biofísicas de cada localidad, de las características de las especies y las variedades utilizadas y de los regímenes de manejo (25, 36, 74). A pesar que los sombríos en Santander son una versión manejada y empobrecida del dosel de los bosques que cubrían originalmente el área (39), los cafetales son cultivos tecnificados y no pertenecen a

la categoría de cafetales rústicos, más bien son policultivos tradicionales, cafetales bajo sombrío diverso tradicional o cafetales bajo monte (25, 40, 55). En cambio, los cafetales de Támesis y El Cairo son policultivos comerciales o cafetales bajo sombrío diverso plantado, con una dominancia clara de una especie explotable con fines comerciales (25, 40, 55). Esto es importante considerando que el potencial de conservación de biodiversidad asociada de un cafetal puede variar más según el tipo de sombrío que según la presencia o ausencia de sombra sobre el cafetal (40, 60, 67).

Composición. Una de las características más importantes para que un sombrío sea una verdadera herramienta de conservación es que esté compuesto de especies autóctonas (43, 63). La composición de los sombríos estudiados fue una mezcla de dos grupos de especies; por un lado especies comunes, nativas e introducidas, plantadas intencionalmente en las fincas cafeteras a lo largo del país;

Tabla 5. Categoría según origen y uso y abundancia por sombrío, de las especies encontradas (Categoría I: especies nativas que se encuentran en estado silvestre, II: especies principales de los sombríos, III: especies plantadas para sombríos y/o frutales; CS: café con sombra, CSC: café con sombra en cañada) (1, 69)*.

#	Familia	Especie	Nombres comunes*	Categoría	El Cairo CS	El Cairo CSC	Támesis CS	Santander CS
1	Acanthaceae	<i>Trichanthera gigantea</i>	Nacedero, madredeagua, cajeto o quiebrabarrigo	I	2	-	-	70
2	Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i>	Mango	III	-	3	-	-
3		<i>Mauria heterophylla</i>	Qüasio, palo amargo o manguito	I	-	-	-	1
4	Annonaceae	<i>Annona muricata</i>	Guanabana	III	-	5	-	-
5	Asteraceae	<i>Montanoa quadrangularis</i>	Arboloco	I	18	95	-	-
6		<i>Piptocoma discolor</i>	No se conoce	I	-	-	-	12
7	Boraginaceae	<i>Cordia alliodora</i>	Nogal cafetero, mo o moho	II	-	1	143	-
8	Caesalpiniaceae	<i>Senna spectabilis</i>	Vainillo, velero o velillo	I	-	1	-	-
9	Cecropiaceae	<i>Cecropia angustifolia</i>	Yarumo negro o guarumo negro	I	-	-	-	2
10		<i>Cecropia peltata</i>	Yarumo o guarumo	I	-	-	3	-
11		<i>Cecropia telealba</i>	Yarumo blanco o guarumo blanco	I	-	2	-	-
12	Clusiaceae	<i>Vismia baccifera</i>	Carate	I	-	-	-	4
13	Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum citrifolium</i>	Coca de monte	I	-	-	-	1
14	Euphorbiaceae	<i>Alchornea grandiflora</i>	Montefrío	I	1	5	-	24
15	Fabaceae	<i>Erythrina edulis</i>	Chachafruto, balú o poroto	III	-	-	1	-
16		<i>Erythrina poeppigiana</i>	Cámbulo o pisamo	I	-	-	-	19
17	Flacourtiaceae	<i>Hasseltia lateriflora</i>	No se conoce	I	-	-	1	-
18	Lauraceae	<i>Nectandra longifolia</i>	Amarillo o laurel	I	1	-	-	-
19		<i>Persea americana</i>	Aguacate	III	4	-	13	4
20		<i>Persea caerulea</i>	Aguacatillo	I	-	-	1	2
21	Lythraceae	<i>Lafoensia acuminata</i>	Guayacán	I	-	1	-	-
22	Meliaceae	<i>Carapa procera</i>	Tangare	I	-	-	-	1
23		<i>Cedrela odorata</i>	Cedro	I	-	-	-	14
24	Mimosaceae	<i>Inga codonantha</i>	Guamo rabo de mico	II	163	100	75	-
25		<i>Inga densiflora</i>	Guamo macheto	III	14	9	3	-

Continúa...

...Continuación

26	<i>Inga edulis</i>	Guamo santafereño	II	8	-	-	122	
27	<i>Inga punctata</i>	Guamo	I	-	-	-	2	
28	<i>Inga venusta</i>	Guamo	I	-	-	-	12	
29	<i>Inga vera</i>	Guamo	I	-	-	-	2	
30	Moraceae	<i>Brosimum alicastrum</i>	Guáimaro o yumbá	I	-	2	-	
31		<i>Ficus insipida</i>	Caucho, higuerón o matapalos	I	-	-	2	
32		<i>Ficus mathewsii</i>	Caucho, higuerón o matapalos	I	-	-	6	
33		<i>Ficus</i> sp. 1	Caucho, higuerón o matapalos	I	-	3	-	
34		<i>Ficus</i> sp. 2	Caucho, higuerón o matapalos	I	-	-	2	
35		<i>Ficus</i> sp. 3	Caucho, higuerón o matapalos	I	-	-	5	
36		<i>Ficus subandina</i>	Caucho, higuerón o matapalos	I	-	-	9	
37	Myrsinaceae	<i>Myrsine coriacea</i>	Espadero	I	-	-	7	
38		<i>Myrsine guianensis</i>	Chagualo o rapabarbo	I	-	-	17	
39	Myrtaceae	<i>Calycolpus moritzianus</i>	No se conoce	I	-	-	16	
40		<i>Eugenia florida</i>	Guayabo de monte	I	2	-	-	
41		<i>Myrcia fallax</i>	Arrayán	I	-	-	8	
42		<i>Syzygium jambos</i>	Pomarroso verde	III	-	-	2	
43	Rosaceae	<i>Prunus subcorymbosa</i>	No se conoce	I	2	-	-	
44	Rutaceae	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	Tacho o tachuelo	I	-	5	14	
45	Sapindaceae	<i>Allophylus</i> sp. 1	Pata de loro	I	4	7	-	
46		<i>Cupania americana</i>	Mestizo	I	1	-	1	
47	Tiliaceae	<i>Heliocarpus americanus</i>	Balso blanco o pestaña de mula	I	-	-	17	
48	Ulmaceae	<i>Trema micrantha</i>	Surrumbo o cargadero	I	4	-	-	
Total de individuos				1.141	224	239	243	435

Tabla 6. Valores de diversidad para los sombríos (Rango: posición respecto a las otras muestras del más (1) al menos (4) diverso; CS: Café con sombra, CSC: Café con sombra en cañada).

Parámetro	Cairo CS		Cairo CSC		Támesis CS		Santander CS	
	Valor	Rango	Valor	Rango	Valor	Rango	Valor	Rango
Especies	13	3	14	2	10	4	29	1
Individuos	224	4	239	3	242	2	435	1
Estimador Chao 1	14,5	4	16,25	3	18	2	29,75	1
Representatividad (%)	89,66	2	86,15	3	55,56	4	97,48	1
Especies exclusivas	4	3	7	2	3	4	21	1
Especies >1% de los individuos	7	3	9	2	5	4	17	1

por otro lado un grupo de especies propias de la vegetación natural de cada región. La proporción de individuos y especies de ambas clases varió según la localidad y parte de las grandes diferencias en cuanto a estructura de los sombríos en Santander se explican porque hay más especies nativas, que provienen de un acervo de especies diferenciado de las otras dos regiones y además hay una mayor uniformidad en cuanto al número de individuos por especie (mayor equitabilidad).

Además de las diferencias entre localidades lejanas, estudiar dos tipos de cafetales bajo sombra en El Cairo nos permitió observar que la composición también puede variar en una misma localidad según el manejo del cafetal. Los cafetales con cañada fueron sembrados en lugares de alta pendiente, en los que se permite la regeneración de las reservas de semillas que han quedado a partir de las especies que hacían parte de la vegetación riparia; esta vegetación hace que el sombrío se diferencie de los otros sombríos de la localidad; además contribuye a mejorar la estabilidad del suelo. Otra diferencia importante de manejo que afecta la composición de los sombríos es la siembra de plátano (*Musa spp.*), ya que su presencia

implica una menor densidad y riqueza de especies arbóreas. Esta especie se recomienda como un cultivo asociado al café en una fase temporal del sombrío, hasta que los árboles sembrados para la sombra alcancen la altura suficiente (36); por lo tanto su frecuencia y abundancia puede variar temporalmente con las variaciones en el cultivo y el sombrío.

Con estos resultados es claro que la composición de los sombríos depende en gran parte de un proceso de selección de especies. Aunque diferentes autores y organizaciones han establecido las características que deben tener los árboles del sombrío, y cuáles son los aspectos favorables y desfavorables de las especies usadas más comúnmente (4, 25, 33, 34, 36, 68, 73); también se deben tener en cuenta los criterios de selección y el conocimiento local en cada región, y los requerimientos de las certificaciones a las cuales se quiera aspirar (26, 73). Es precisamente la percepción de los habitantes de estas localidades lo que puede explicar la presencia en los sombríos de plantas como el aguacate, las guayabas y los miembros de las familias Moraceae y Euphorbiaceae, que aunque sí son recomendadas para la conservación de la biodiversidad (42), no se recomiendan como acompañantes para

la producción del café por tener frutos carnosos, cítricos y/o que producen látex (34, 36). Respecto a los criterios de las certificaciones, los sombríos estudiados cumplen varios de los criterios de los sellos de *Rainforest Alliance* y *Bird-friendly*. En todos la mayoría de especies son nativas, y pocas son caducifolias. Respecto a las especies principales, los guamos (*Inga* spp.) ofrecen más ventajas para la conservación de la biodiversidad porque sus frutos son consumidos por una gran variedad de fauna nativa, mientras que los del nogal cafetero (*Cordia alliodora*) no. Sin embargo esta especie es preferida porque provee madera de buena calidad en poco tiempo (1, 18, 25, 69). Solo en los cafetales de Santander se cumplen los criterios respecto a la abundancia relativa de la especie principal, en El Cairo y Támesis es más alta que la permitida y en cambio hay unas proporciones demasiado bajas de otras especies.

Fisionomía. En cuanto a los criterios fisionómicos para sombríos “amigables con la biodiversidad”, en todos se cumple la densidad mínima requerida, pero en general en el momento del estudio aún no se cumplían los requerimientos de altura. La variabilidad en diámetro y altura son indicadoras de la variación en el tamaño, la especie y la edad de los individuos en las diferentes parcelas, y en últimas, de diferencias entre los lotes y las fincas estudiadas. Los sombríos de El Cairo parecen ser más jóvenes y tienen más variación en densidad y diámetro, mientras que sombríos más establecidos como los de Támesis y Santander varían en cuanto a la altura. La heterogeneidad vertical de los cafetales es una característica importante para su papel como hábitat de vida silvestre (59, 61, 67) así que harían falta mediciones de variables como la estratificación vertical y la cobertura horizontal en los sombríos estudiados. Desafortunadamente no tenemos datos de los porcentajes de cobertura del

dosel, que es una de las variables a las que las certificadoras dan mayor importancia. Este valor no es necesariamente proporcional a la densidad de individuos ya que depende de las especies y de los regímenes de poda (25, 36). En otro estudio de cafetales en Santander con fisionomía muy similar, encontraron valores mayores al 80% (39), valor que está por encima de los rangos de aceptación de todas las certificadoras y que es mayor al óptimo recomendado para maximizar la productividad (25); sin embargo no tenemos información de las otras dos localidades.

Diversidad. Diferentes estudios indican que la diversidad de árboles en un sombrío afecta proporcionalmente la diversidad de otros organismos, y que además la presencia de especies de árboles nativos tiene un efecto positivo y fuerte en la presencia de fauna típica de bosque o con alta vulnerabilidad de extinción, que resulta ser la de mayor interés para la conservación en paisajes rurales (40, 59, 66). Aunque en los sombríos estudiados se retiene una fracción de la diversidad de plantas de cada localidad, la riqueza es muy baja si se compara con la diversidad en remanentes naturales, o inclusive con valores encontrados para cafetales rústicos en México, que además de tener una mayor proporción de especies nativas, tienen un mayor número de estratos (66), y por tanto, hacen una mayor contribución a la diversidad de árboles silvestres en su región (3).

Al evaluar la diversidad debe tenerse en cuenta la representatividad de las muestras sobre las cuales se está basando el análisis. A pesar que el área estudiada fue la misma en las cuatro muestras de sombrío, la representatividad alcanzada en Támesis estuvo por debajo de los límites recomendados para hacer comparaciones de composición (72). El estimador Chao 1 adquiere valores mucho más altos que la riqueza observada cuando en las muestras hay

una gran cantidad de especies representadas por sólo uno (Singletons) o dos (Doubletons) individuos (19), y en teoría estos valores se reducen al aumentar el área estudiada. En los sombríos de Tâmesis los valores de riqueza o equitabilidad por parcela no son menores a los encontrados en El Cairo, sin embargo al agrupar todos los resultados de la localidad la diversidad en Tâmesis es menor. Todo esto indica que aunque hay muy pocos individuos pertenecientes a especies raras (sólo el 10% de los individuos pertenecen a alguna especie diferente a *C. alliodora* e *Inga codonantha*), éstos están distribuidos de manera dispersa entre lotes y fincas, y sólo agregando muchas unidades se lograría encontrar más especies. En cambio la reducida variación de los datos de riqueza por parcela y la alta representatividad de las muestras en Santander, indican que la diversidad es constante entre los distintos sombríos, y que el mayor número de especies en la localidad no está dado por algún lote o finca, especialmente rico en especies.

En otra caracterización de los sombríos de Santander, en un área casi siete veces mayor, se encontraron curvas de acumulación de diversidad que se estabilizaban cerca de las 70 especies (39), lo cual indica una diversidad total bien representada, y mucho mayor a la que se encuentra en las unidades más pequeñas. Este aumento de la riqueza con el área, demuestra que existe una variación regional en la composición y que el aporte a la diversidad de estos sistemas productivos es mayor a escalas espaciales más amplias.

De los requerimientos de diversidad exigidos para obtener las certificaciones, en las tres regiones se cumple el mínimo de diez especies por hectárea requerido por la *Rainforest Alliance* (63). Sin embargo, para obtener sellos más exigentes como el de *Bird-Friendly* se requiere que estas especies estén representadas por más del 1% de los

individuos (43), y esto sólo se cumple en los cafetales de Santander. A pesar de que sólo utilizamos la información de los individuos de hábito arbóreo, la mayor diversidad en estos agroecosistemas seguramente está ligada a una mayor diversidad de plantas epífitas, trepadoras, arbustos y plantas herbáceas, cuya presencia aumenta la complejidad del ecosistema y colabora a que albergue una mayor diversidad de fauna. El manejo que se le da a los sombríos en las otras localidades probablemente no sea suficiente para que estos cafetales se constituyan en verdaderos “refugios de fauna”. Aún diferencias pequeñas, como las encontradas entre los cafetales convencionales y en cañada de El Cairo, pueden colaborar de forma importante a la conservación, no sólo de biodiversidad, sino de bienes y servicios ambientales, como la calidad del suelo y del agua. Esto no debe interpretarse como una invitación a sembrar cafetales en las cañadas, puesto que los cordones de vegetación riparia tienen un valor inmensamente mayor en la conservación de especies de bosque y en el aumento de la conectividad del paisaje para la fauna en los paisajes intervenidos (10, 17, 61); más bien es una invitación a aumentar la riqueza de especies en los sistemas productivos.

La idea de tener sombras diversificadas y de sus posibles contribuciones a la salud del cafetal como ecosistema y a la conservación de la biodiversidad no es nueva. Para 1942, en la Gerencia Técnica de la Federación Nacional de Cafeteros, ya se afirmaba que la sombra debía ser “inteligentemente distribuida y diversificada” y que los caficultores debían buscar “entre los árboles propios de la zona donde se encuentra ubicada su hacienda aquellos que reúnan las mejores características para el propósito que se les destina (cumpliendo) el doble propósito de dar sombra adecuada a los cultivos y principiar la repoblación forestal contribuyendo en esta forma al aumento de la riqueza nacional” (68).

Consideraciones finales. Más allá de los valores encontrados, es importante destacar que, aún en las pequeñas áreas estudiadas por localidad, se encontraron variaciones importantes en la estructura y la diversidad de los sombríos entre lotes y fincas. Esto quiere decir que el potencial de los cafetales como herramienta de conservación aumenta cuando en una región se acumulan muchas fincas o lotes con las características deseadas, y concuerda con lo encontrado en otros estudios de diversidad asociada a cafetales con sombra (3, 66, 74). Sin embargo, las certificaciones generalmente se solicitan por finca (*Rainforest Alliance*) o inclusive por lote (*Bird-Friendly*). Una forma importante de cumplir con los requerimientos y de unir fuerzas en iniciativas como el enriquecimiento de especies es buscar certificaciones por medio de grupos asociativos, en los que se agreguen las fincas (y la heterogeneidad) de muchos pequeños productores.

El origen y el manejo tradicional que han tenido los sombríos del departamento de Santander se adapta muy bien a las exigencias de estas certificaciones ambientales, aspecto que lo hace líder en la producción de cafés certificados. Estos cafetales se hacen aún más importantes desde el punto de vista de la conservación, si se tiene en cuenta que en los paisajes rurales de la región prácticamente no quedan remanentes de vegetación natural, y que por tanto, muchas especies de bosque tienen los sombríos como único hábitat para subsistir (24, 39). En Támeis y El Cairo es necesario adelantar programas de enriquecimiento de los sombríos, pero para procurar la conservación de las diferencias de biodiversidad en distintas zonas cafeteras, debe ampliarse la lista de especies potenciales para uso en los sombríos, en la cual podría favorecerse la adopción de especies propias de cada localidad. Sería conveniente aprovechar

las reservas potenciales de semillas en remanentes naturales. Justamente en el sector estudiado de El Cairo hay pequeños bosques secundarios y en Támeis hay cañadas arborizadas y bosques por encima de 2.000m de altitud con los que se puede favorecer este proceso.

Por último, se debe recordar que toda decisión por parte de un caficultor para transformar y enriquecer los sombríos de sus cafetales requiere incentivos económicos y culturales, que pueden ser generados por instituciones como las certificadoras y la Federación Nacional de Cafeteros. Estos procesos no dependen únicamente del contexto biológico y socioeconómico de cada localidad, también de fuerzas externas como las preferencias de los consumidores internacionales de café y las dinámicas mundiales de mercado (26). De esta forma, la conservación de la biodiversidad en los paisajes cafeteros depende en gran medida del precio que se ofrezca por los cafés sostenibles; y además, de la capacidad que tengan las entidades certificadoras, comercializadoras y los consumidores de discriminar entre la oferta actual, qué productos provienen de cafetales realmente benéficos para la biodiversidad en su región (27, 60). Esto requiere estudios acerca del efecto de las características de los sombríos y los paisajes que los rodean, sobre la biodiversidad natural en distintas regiones del país. A menos que se valoren estos aportes, y las nuevas oportunidades que ofrece el mercado, lo más probable es que las certificaciones se continúen adoptando únicamente en sitios como Santander, en donde no se requiere una gran inversión para transformar los sombríos, ya que las condiciones climáticas y la tradición obligan a tener cafetales que ya cumplen con los criterios exigidos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todas aquellas personas que participaron en el Equipo de Paisajes Rurales del Programa de Biología de la Conservación: Sandra Milena Durán, Rocío García, Ómar Andrés Echeverry, Gustavo Zabala y los auxiliares de campo. A los caficultores y funcionarios de los Comités de Cafeteros de El Cairo, Támesis y Santander. Al Herbario de la Universidad de Antioquia. Esta investigación hace parte de los resultados del trabajo de Cenicafé para el Proyecto “Conservación y Uso Sostenible de la Biodiversidad en los Andes Colombianos”, coordinado por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt con fondos provenientes de una beca GEF/Banco Mundial y el apoyo de la Embajada Real de los Países Bajos. A Fabio H. Lozano, Ricardo Callejas, Esther C. Montoya, Fernando Farfán y Carlos M. Ospina, por sus revisiones y evaluaciones que permitieron precisar y enriquecer este artículo.

LITERATURA CITADA

1. ACERO D., L.E. Árboles de la zona cafetera colombiana. Bogotá, Colombia. Ediciones Fondo Cultural Cafetero. 1985. 307 p.
2. BAKER, P.S. El medio ambiente: iniciativas nacionales e internacionales. In: Baker, P.S.; Duque O., H. Eds. Guía para la caficultura sostenible en Colombia: Un trabajo articulado con los caficultores, extensionistas y la comunidad. Chinchiná, Cenicafé. 2007. p. 57-79.
3. BANDEIRA, F.P.; MARTORELL, C.; MEAVE, J.A.; CABALLERO, J. The role of rustic coffee plantations in the conservation of wild tree diversity in the Chinantec region of Mexico. *Biodiversity and Conservation* 14:1225–1240. 2005.
4. BELLOW, J.G.; MUSCHLER, R.G. Screening for promising trees to associate with coffee in Central America. In: Semana Científica, Logros de la Investigación para el Nuevo Milenio, 4. Turrialba, Abril 6-9, 1999. Actas. Turrialba, CATIE, 1999. p. 196-198.
5. BIRDLIFE INTERNATIONAL & CONSERVATION INTERNATIONAL. Áreas Importantes para la conservación de las aves en los Andes Tropicales: sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad. Quito, BirdLife International, 2005. 769 p. (Serie de Conservación de BirdLife No. 14).
6. BOTERO, J.E.; BAKER, P.S. Coffee and biodiversity; a producer-country perspective. In: Baker, P.S. Ed. Coffee Futures, A source book of some critical issues confronting the coffee industry. Chinchiná, Cabi–Federacafé, USDA-ICO, 2001. p. 94-103.
7. BOTERO, J.E.; VERHELST, J.C. Turquoise *Dacnis Dacnis hartlaubi*, further evidence of use of shade coffee plantations. *Cotinga* 15:34-36. 2001.
8. BOTERO, J.E.; VERHELST, J.C.; FAJARDO, D. Las aves en la zona cafetera de Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 265: 1-8. 1999.
9. BOTERO, J.E.; VERHELST, J.C.; FAJARDO, D. Aves migratorias en la zona cafetera Colombiana. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 266: 1-8. 1999.
10. CÁRDENAS, G.; HARVEY, C.A.; IBRAHIM M.; FINEGAN, B. Diversidad y riqueza de aves en diferentes hábitats en un paisaje fragmentado en Cañas, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40):78-85. 2003.
11. CARDONA C., D.A.; SADEGHIAN K., S. Aporte de material orgánico y nutrientes en cafetales al sol y bajo sombrero de guamo. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 334: 1-8. 2005.
12. CARDONA C., D.A.; SADEGHIAN K., S. Beneficios del sombrero en suelos cafeteros. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 335: 1-8. 2005.
13. CARDONA C., D.A.; SADEGHIAN K., S. Ciclo de nutrientes y actividad microbiana en cafetales a libre exposición solar y con sombrero de *Inga* spp. *Cenicafé* 56(2):127-141. 2005.
14. CARDONAC., D.A.; SADEGHIAN K., S. Evaluación de propiedades físicas y químicas de suelos establecidos con café bajo sombra y a plena exposición solar. *Cenicafé* 56(4):348-364. 2005.
15. CASTAÑO, J.H.; BOTERO, J.E. Murciélagos de la zona cafetera colombiana. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 329: 1-8. 2004.

16. CASTAÑO, J.H.; BOTERO, J.E.; VELÁSQUEZ, S.; CORRALES, J.D. Murciélagos en agroecosistemas cafeteros de Colombia. *Chiroptera Neotropical* 10 (1-2):196-199. 2004.
17. CHACÓN L., M.; HARVEY, C.A. Live fences and landscape connectivity in a neotropical agricultural landscape. *Agroforestry Systems* 68:15–26. 2006.
18. CHAMORRO T., G.E.; GALLO C., A.; LÓPEZ A., R. Evaluación económica del sistema agroforestal café asociado con nogal. *Cenicafé* 45(4):164-170. 1994.
19. CHAO, A. Nonparametric estimation of the number of classes in a population. *Scandinavian Journal of Statistics* 11:265-270. 1984.
20. COLWELL, R.K. EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples. Versión 7.5. Estados Unidos, University of Connecticut, Department of Ecology and Evolutionary Biology. 2005. On line Internet. Disponible en: purl.oclc.org/estimates (Consultado en julio de 2007)
21. CONSERVACIÓN INTERNACIONAL COLOMBIA. Programas: Corredores de Conservación: Chocó-Manabí: Café de Conservación. [Online]. Bogotá (Colombia), Conservación Internacional, Colombia. 2007. On line Internet. Disponible en: <http://www.conservation.org.co/programasdetalle.php?nivel=2&idu=35> (Consultado en octubre de 2007).
22. DURÁN, S.M.; GARCÍA, R.; VÉLEZ, J.G.; ECHEVERRY, O.A.; BOTERO, J.E. Caracterización de la biodiversidad en paisajes rurales cafeteros. Informe técnico preliminar. Ventana No. 1: El Cairo. Chinchiná, Cenicafé. Programa de Biología de la Conservación. 2003. 99 p.
23. DURÁN, S.M.; GARCÍA, R.; VÉLEZ, J.G.; ECHEVERRY, O.A.; BOTERO, J.E. Caracterización de la biodiversidad en paisajes rurales cafeteros. Informe técnico preliminar. Ventana No. 2: Támesis. Chinchiná, Cenicafé. Programa de Biología de la Conservación., 2004. 127 p.
24. DURÁN, S.M.; GARCÍA, R.; VÉLEZ, J.G.; ECHEVERRY, O.A.; BOTERO, J.E. Caracterización de la biodiversidad en paisajes rurales cafeteros. Informe técnico preliminar. Ventana No. 3: Santander. Chinchiná, Cenicafé. Programa de Biología de la Conservación, 2004. 114 p.
25. FARFÁN V., F. Producción de café en sistemas agroforestales. In: Arcila P., J.; Farfán V., F.; Moreno B., A.; Salazar G., L.F.; Hincapié G., E. *Sistemas de producción de café en Colombia*. Chinchina, Cenicafé, 2007. p. 161-200.
26. FARFÁN V., F. Cafés especiales. In: Arcila P., J.; Farfán V., F.; Moreno B., A.; Salazar G., L.F.; Hincapié G., E. *Sistemas de producción de café en Colombia*. Chinchiná, Cenicafé, 2007. p. 233-254.
27. FARFÁN V., F. Las buenas prácticas agrícolas en la caficultura. In: Arcila P., J.; Farfán V., F.; Moreno B., A.; Salazar G., L.F.; Hincapié G., E. *Sistemas de producción de café en Colombia*. Chinchiná, Cenicafé, 2007. p. 275-294.
28. FARFÁN V., F.; MESTRE M., A. Manejo del sombrío y fertilización del café en la zona central colombiana. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 330: 1-8. 2004.
29. FARFÁN V., F.; MESTRE M., A. Respuesta del café cultivado en un sistema agroforestal a la aplicación de fertilizantes. *Cenicafé* 55(2):161-174. 2004.
30. FARFÁN V., F.; MESTRE M., A. Fertilización de cafetales con sombrío en la zona cafetera norte de Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 331: 1-8. 2004.
31. FARFÁN V., F.; MESTRE M., A. Fertilización del café en un sistema agroforestal en la zona cafetera norte de Colombia. *Cenicafé* 55(3):232-245. 2004.
32. FARFÁN V., F.; URREGO, J.B. Comportamiento de las especies forestales *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis* como sombrío e influencia en la productividad del café. *Cenicafé* 55(4):317-329. 2004.
33. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA – FNC. BOGOTÁ. COLOMBIA. El sombrío para el cafeto. *Revista Cafetera de Colombia* 4(38-39):1411-1424. 1932.
34. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA – FNC. BOGOTÁ. COLOMBIA. Manual del cafetero colombiano. 4. ed. Bogotá, FNC, 1979. 209 p.
35. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Anuario Meteorológico Cafetero 2004. Chinchiná, Caldas, Cenicafé. 2006. 552p.

36. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA – FNC. BOGOTÁ. COLOMBIA; CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Sombrío de cafetales. In: Cartilla cafetera. Tomo 1. Chinchiná, FNC - Cenicafé, 2004. p. 247-274.
37. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA – FNC. BOGOTÁ. COLOMBIA. Cafés sostenibles: Resultados 2006 – Proyecciones 2007. Bogotá, Colombian Specialty Coffees, 2006. (Documento interno).
38. GIRALDOJ., J.F.; JARAMILLO R., A. Ciclo hidrológico y transporte de nutrientes en cafetales bajo diferentes densidades de sombrío de Guamo. *Cenicafé* 55(1):52-68. 2004.
39. GÓMEZ, J.P. Evaluación del papel de las certificaciones ambientales al café en la conservación de la biodiversidad: un enfoque a las comunidades de aves. Bogotá, Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias, 2006. 77 p. (Tesis: Biólogo).
40. GORDON, C.; MANSON, R.; SUNDBERG, J.; CRUZA., A. Biodiversity, profitability, and vegetation structure in a Mexican coffee agroecosystem. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118:256-266. 2007.
41. GOTELLI, N.J.; COLWELL, R.K. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters* 4:379-391. 2001.
42. GREENBERG, R.; RICE, R.A. Manual de café sombreado y biodiversidad en el Perú. Washington, Smithsonian Institution - Migratory Bird Center, s.f. 52 p.
43. GREENBERG, R.; RICE, R. Shade management criteria for..."Bird Friendly®" Coffee. Washington, Smithsonian Migratory Bird Center, 2003. On line Internet. Disponible en: <http://nationalzoo.si.edu/ConservationAndScience/MigratoryBirds/Coffee/Certification/criteria.cfm>. (Consultado en marzo de 2007).
44. HAMMER, O.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P.D. *PAST*: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1). 2001 Online Internet. Disponible en: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm (Consultado en noviembre de 2005).
45. HUERTA, S., A. Intensidad de transpiración en el café en condiciones de exposición solar y de penumbra natural. *Cenicafé* 13(3):125-138. 1962.
46. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI – IGAC. BOGOTÁ. COLOMBIA. Diccionario geográfico de Colombia. 3. ed. Bogotá, IGAC, 1996. 4 Vols.
47. JARAMILLO R., A. Condiciones micrometeorológicas en un cafetal bajo sombrío. *Cenicafé* 27(4):180-184. 1976.
48. JARAMILLO R., A. La lluvia y el transporte de nutrientes dentro de ecosistemas de bosque y cafetales. *Cenicafé* 54(2):134-144. 2003.
49. JARAMILLO R., A.; CHÁVES C., B. Aspectos hidrológicos en un bosque y en plantaciones de café (*Coffea arabica* L.) al sol y bajo sombra. *Cenicafé* 50(2):97-105. 1999.
50. JARAMILLO R., A.; GÓMEZ G., L. Microclima en cafetales a libre exposición solar y bajo sombrío. *Cenicafé* 40(3):65-79. 1989.
51. MACHADO S., A. Estado actual de las investigaciones sobre el uso de la sombra en los cafetales. *Cenicafé* 10(1):5-51. 1959.
52. MACHADO S., A. El sombrío como factor interactuante en la producción del caféto *Coffea arabica* L. *Cenicafé* 2(16):21-33. 1951.
53. MENDOZA, J.E.; JIMÉNEZ, E.; LOZANO Z., F.H.; CAYCEDO R., P.; RENJIFO, L.M. Identificación de elementos del paisaje prioritarios para la conservación de biodiversidad en paisajes rurales de los Andes Centrales de Colombia. In: Saenz, J.; Harvey, C.A. Eds. Conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados y agropaisajes. Heredia, Editorial UNA, s.f. (En prensa).
54. MESTRE M., A. Respuesta del café bajo sombra a la fertilización. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 231: 1-4. 1996.
55. MOGUEL, P.; TOLEDO, V.M. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 13(1):11-21. 1999.
56. MORENO B., A. Fundamentos sobre sistemas de producción. In: Arcila P., J.; Farfán V., F.; Moreno B., A.; Salazar G., L.F.; Hincapié G., E. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná, Cenicafé, 2007. p. 15-20.
57. OLSON, D.M.; DINERSTEIN, E.; WIKRAMANAYAKE, E.D.; BURGESS, N.D.; POWELL G., V.N.; UNDERWOOD, E.C.; D'AMICO, J.A.; ITOUA, I.; STRAND, H.E.; MORRISON, J.C.; LOUCKS,

- C.J.; ALLNUTT, T.F.; RICKETTS, T.H.; KURA, Y.; LAMOREUX, J.F.; WETTENGEL, W.W.; HEDAO, P.; KASSEM, K.R. Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on Earth. *BioScience* 51(11):933-938. 2001.
58. PERAZA, C.; CIFUENTES, Y.; ALAYÓN, Y.; CLAVIJO, C. Adiciones a la avifauna de un cafetal con sombrío en la Mesa de los Santos (Santander, Colombia). *Universitas Scientiarum* 9:19-32. 2004.
59. PERFECTO, I.; RICE, R.A.; GREENBERG, R.; VANDER VOORT, M.C. Shade coffee: A disappearing refuge for biodiversity. *BioScience* 46(8):598-608. 1996.
60. PERFECTO, I.; VANDERMEER, J.; MAS, A.; SOTO P., L. Biodiversity, yield, and shade coffee certification. *Ecological Economics* 54:435-446. 2005.
61. PETIT, L.J.; PETIT, D.R. Evaluating the importance of human-modified lands for Neotropical bird conservation. *Conservation Biology* 17(3):687-694. 2003.
62. PHILPOTT, S.M.; BICHER, P.; RICE, R.; GREENBERG, R. Field-testing ecological and economic benefits of coffee certification programs. *Conservation Biology* 21(4):975-985. 2007.
63. RAINFOREST ALLIANCE. Additional criteria and indicators for coffee production. Costa Rica, Sustainable Agriculture Network, 2005. Online Internet. Disponible en: http://www.rainforest-alliance.org/programs/agriculture/certified-crops/standards_2005.html (Consultado en marzo de 2007).
64. RAMÍREZ G., A. Ecología: Métodos de muestreo y análisis de poblaciones y comunidades. Bogotá, Editorial Pontificia Universidad Javeriana, 2006. 272 p.
65. RIVERA P., H.; GÓMEZ A., A. El sombrío en los cafetales protege los suelos de la erosión. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 177: 1-8. 1992.
66. SOTO P., L.; ROMERO A., Y.; CABALLERO N., J.; SEGURA W, G. Woody plant diversity and structure of shade-grown-coffee plantations in Northern Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical* 49(3-4):977-987. 2001.
67. TEJEDA C., C.; SUTHERLAND, W.J. Bird responses to shade coffee production. *Animal Conservation* 7:169-179. 2004.
68. VARGAS, B.S. Prácticas de cultivo en los cafetales de Colombia – Árboles de sombrío. *Revista Cafetera de Colombia* 8(109):2904-2907. 1942.
69. VARGAS, W.G. Guía ilustrada de las plantas de las montañas del Quindío y los Andes Centrales. Manizales, Editorial Universidad de Caldas. 2002. 813 p. (Colección Ciencias Agropecuarias).
70. VERHELST, J.C.; BOTERO, J.E.; ORREGO, O.; FAJARDO, D. El carpinterito punteado *Picumnus granadensis*, en las regiones cafeteras de Colombia. *Caldasia* 24(1):201-208. 2002.
71. VERHELST, J.C.; RODRÍGUEZ, J.C.; ORREGO, O.; BOTERO, J.E.; LÓPEZ, J.A.; FRANCO, V.M.; PFEIFER, A.M. Aves del Municipio de Manizales-Caldas, Colombia. *Biota Colombiana* 2(3):265-284. 2001.
72. VILLARREAL, H.; ÁLVAREZ, M.; CÓRDOBA, S.; ESCOBAR, F.; FAGUA, G.; GAST, F.; MENDOZA, H.; OSPINA, M.; UMAÑA, A.M. Métodos para el análisis de datos: una aplicación para resultados provenientes de caracterizaciones de biodiversidad. In: INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT. BOGOTÁ. COLOMBIA. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. 2. ed. Bogotá, Instituto Humboldt, 2006. p. 185-226.
73. YEPES, P.C. ¿Cómo diversificar la sombra en cafetales con criterios locales de selección?. *Agroforestería en las Américas* 9(35-36):95-98. 2002.
74. ZNAJDA, S.K. Habitat conservation, avian diversity, and coffee agrosystems in Southern Costa Rica. Ontario, York University. Faculty of Environmental Studies, 2000. 135 p. (Tesis Master in Environmental Studies).