

Artículo original

Composición florística y aspectos de la estructura de la vegetación en sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L. - Malvaceae) en el departamento del Huila, Colombia

Floristic composition and aspects of the structure of the vegetation in agroforestry systems with cocoa (*Theobroma cacao* L. - Malvaceae) in the department of Huila, Colombia

✉ Claudia Mercedes Ordoñez¹, ✉ J. Orlando Rangel-Ch^{2,*}

¹ Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA, Centro de Formación Agroindustrial, Regional Huila, Neiva, Campoalegre, Colombia

² Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C., Colombia

Resumen

Con base en la composición florística y en aspectos de la estructura (área basal y número de individuos), se caracterizó la vegetación en sistemas agroforestales (SAF) ubicados en 47 plantaciones con cacao (*Theobroma cacao*) en el departamento del Huila, Colombia. La vegetación en dichos sistemas estaba dominada por las especies *Pseudosamanea guachapele*, *Musa paradisiaca*, *Erythrina poeppigiana*, *Gmelina arborea*, *Psidium guajava*, *Mangifera indica* y *Cordia alliodora*. Las especies características-dominantes a nivel regional fueron *Gliricidia sepium*, *Cordia alliodora*, *Amyris pinnata* y *Persea americana*. Los sistemas agroforestales con mayor riqueza fueron el de *Pseudosamanea guachapele*, con 36 especies y el de *Musa paradisiaca*, con 25. La altura de los individuos oscilaba entre 3 y 21 m, y el mayor valor se presentó en el sistema de *P. guachapele*; el área basal fue 64,30 m², los mayores valores se registraron en los sistemas agroforestales de *P. guachapele*, con 16,41 m² y en el de *E. poeppigiana*, con 18,03 m². La participación de *T. cacao* a nivel regional en el área basal es de 56,63 m² y el número total de individuos es de 4.808. En los sitios con exposición libre (cultivo limpio en 11.000 m²) la altura promedio de los individuos de cacao era de 3,5 m, el área basal, de 15,31 m², con 1.101 individuos. Esta cantidad es casi igual a la que se encontraría en un área de igual extensión en el sistema agroforestal bajo sombra de *P. guachapele* (1.386 individuos) y cinco veces mayor que aquel con presencia de todas las especies asociadas pero sin *T. cacao* (217 individuos). Aparte de la cosecha de cacao, estos sistemas ofrecen madera, frutos y leña, y proveen servicios ecosistémicos relacionados con la protección del suelo y la conservación de la biodiversidad.

Palabras clave: Cacao; Sistemas agroforestales; Composición florística; Estructura; Huila.

Abstract

We characterized the vegetation types in agroforestry systems located in 47 cocoa plantations (*Theobroma cacao*) in the department of Huila, Colombia, based on the floristic composition and some aspects of the structure (basal area and number of individuals). The vegetation types of these systems were dominated by the species *Pseudosamanea guachapele*, *Musa paradisiaca*, *Erythrina poeppigiana*, *Gmelina arborea*, *Psidium guajava*, *Mangifera indica*, and *Cordia alliodora* while the characteristic dominant species at the regional level were *Gliricidia sepium*, *Cordia alliodora*, *Amyris pinnata*, and *Persea americana*. The systems with the greatest richness were those of *P. guachapele* with 36 species and *M. paradisiaca* with 25. The height of the individuals ranged between 3 and 21 m with the highest value in the *P. guachapele* system; the basal area was 64.30 m², the highest values were registered in the *P. guachapele* system with 16.41 m² and in the *E. poeppigiana* system with 18.03 m². The participation of *T. cacao* at the regional level in the basal area was 56.63 m² with a total number of individuals of 4,808. In sites with free exposure (clean cultivation at 11,000 m²), the average height of cocoa individuals was 3.5 m and the basal area was

Citación: Ordoñez CM, Rangel-Ch JO. Composición florística y aspectos de la estructura de la vegetación en sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L. - Malvaceae) en el departamento del Huila, Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. 44(173):1033-1046, octubre-diciembre de 2020. doi: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1183>

Editor: Gerardo Antonio Aymard Corredor

***Correspondencia:**

J. Orlando Rangel-Ch.;
jorangelc@unal.edu.co;
jorangelc@gmail.com

Recibido: 25 de marzo de 2020

Aceptado: 18 de agosto de 2020

Publicado: 5 diciembre de 2020



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

15.31 m² with 1,101 individuals. This amount almost equals what would be found in an area under the shade of equal size in the *P. guachapele* system (1,386 individuals) and five times greater than in the system with all the associated species but without *T. cacao* (217 individuals). Besides the cocoa harvest, these agroforestry systems offer wood, fruits, and firewood, and they provide ecosystem services related to soil protection and biodiversity conservation.

Keywords: Cocoa; Agroforestry systems; Floristic composition; Structure; Huila.

Introducción

El cacao es un cultivo importante por ser el insumo básico en la industria del chocolate. En el 2012 se cosecharon a nivel mundial 5,5 millones de toneladas de cacao en grano en un área de 18 millones de hectáreas (FAOSTAT, 2014; ICCO, 2014). A nivel mundial los sistemas agroforestales representan el 38 % del uso de la tierra (Rapidel, *et al.*, 2015). Las regiones del mundo con mayor superficie de sistemas agroforestales (SAF) son Latinoamérica (200-357 millones de ha), África (190 millones de ha) y el Sudeste de Asia (130 millones de ha) (Somarriba, *et al.*, 2012). En Colombia el cultivo de cacao abarca 175.000 hectáreas (FEDECACAO, 2020), sin embargo, no hay datos del total de la superficie con presencia de dichos sistemas. A pesar de que en el país existen todas las condiciones para el cultivo de cacao, actualmente la producción es de apenas 0,53 toneladas por hectárea (MADR, 2019), y contribuye con el 1 % de la producción mundial, valores extremadamente bajos frente a los de Costa de Marfil, el mayor productor mundial, con 42,2 % (ICCO, 2018). De todas maneras, el subsector cacaotero en el país ha tenido un evidente crecimiento debido a la acogida del producto en el mercado internacional (FEDECACAO, 2020) y porque ha sido denominado el “cultivo de la paz”, pues su siembra en nuevas áreas y la recuperación de algunas ya existentes hace parte del programa nacional de sustitución de cultivos ilícitos (Presidencia de la República, 2016).

Se considera que el lugar de origen del cacao (*Theobroma cacao* L. - Malvaceae) se sitúa en la cuenca alta del Amazonas, en localidades de Colombia, Ecuador y Perú (Thomas, *et al.*, 2012; Zarrillo, *et al.*, 2018), así como en las zonas donde se asentó la cultura Maya en Mesoamérica y lo domesticó en épocas muy antiguas (Motamayor, *et al.*, 2002; Ricaño-R., *et al.*, 2018), como se ha constatado en algunos estudios moleculares recientes (Richardson, *et al.*, 2015; Richardson, *et al.*, 2018). Hay tres variedades de cacao cultivado: el criollo, proveniente de Mesoamérica y del norte de Suramérica; el forastero, de la región amazónica, y el trinitario, híbrido de los dos anteriores que se encuentra en el Caribe (Motamayor, *et al.*, 2002; Rodríguez-Medina, *et al.*, 2019; González-Orozco, *et al.*, 2020). Colombia es el país con la mayor cantidad de especies de *Theobroma* en el mundo, pues cuenta con 12 de las 20 registradas (Cuatrecasas, 1964).

Con el fin de generar las condiciones de sombra apropiadas para un adecuado desarrollo y buen desempeño fisiológico del cacao, se han implementado sistemas agroforestales en cultivos comerciales con diferentes tipologías en función de la estructura mediante la distribución e integración de árboles en fincas y paisajes agrícolas (Somarriba & Lachenaud, 2013). Estos sistemas constituyen una alternativa frente a la problemática de los monocultivos y es una opción apropiada que implica la combinación de especies forestales con otros cultivos y, en ocasiones, con animales domésticos. Se trata de optimizar la producción por unidad de área, de obtener rendimientos y hacer sostenible el proceso conservando el ecosistema (Mata-Anchundia, *et al.*, 2018). Estos sistemas agroforestales tienen una estructura y una composición florística de gran complejidad que varían ampliamente entre las regiones productoras de cacao, entre las fincas de una región e, inclusive, entre sectores dentro de una misma plantación.

La estructura de los sistemas agroforestales con cacao se clasifica según el dosel de sombra y el estado de su desarrollo: pleno sol, sombra especializada, sombra diversificada, sombra productiva y rústica (Somarriba & Lachenaud, 2013). La relación de la estructura con la riqueza y la diversidad de sombra afecta la dinámica hídrica del sistema, la producción de los elementos asociados y la conservación de la biodiversidad. La composición florística

en estos sistemas está determinada por el tipo de sombra y por el arreglo o el manejo que se les confiera. Las especies más utilizadas en los doseles de sombra en plantaciones de cacao en el mundo pertenecen a los géneros *Inga*, *Gliricidia*, *Erythrina*, *Albizia* y *Leucaena*; se mencionan entre 15 y 26 especies arbóreas (Sonwa, *et al.*, 2007).

Área de estudio

Las localidades en las cuales se desarrolló la investigación se ubican el norte del departamento del Huila, suroccidente colombiano (2° 31' 22,588" N y 75° 18' 57,427" O, (Tabla 1), en la formación de bosque tropical seco del valle del río Magdalena, entre los 526 y los 1.140 metros de altitud. La precipitación varía entre 668 mm y 1500 mm anuales; el promedio de horas de sol al año es de 1.721 horas, y la humedad relativa del aire del es de 71 %. El régimen de distribución anual de las lluvias es bimodal tetraestacional con dos periodos secos de julio a septiembre y de diciembre a marzo y dos épocas de lluvia entre abril y junio y octubre y noviembre (Figueroa, 2004). Los suelos son de textura franco arcillosa y arenoso arcillosa.

Metodología

En 47 plantaciones agroforestales con cacao pertenecientes a la red de asociaciones de cacao del Huila (APROCAHUILA), que asocia a los productores de los municipios cacaoteros Rivera, Campoalegre y Algeciras, se seleccionaron parcelas de 1.000 m² de superficie. Las plantaciones agroforestales con cacao se seleccionaron al azar, todas ellas en fincas de cinco hectáreas, de las cuales, en promedio, dos están sembradas con cacao. En las parcelas delimitadas el inventario o conteo de los individuos de *T. cacao* y de las especies asociadas (con un diámetro a la altura del pecho, DAP, superior a 2,5 cm) se complementó con la estimación de la altura. El número de individuos se registró en la tabla de composición florística en la que se ubican los sistemas agroforestales diferenciados según el grado de similitud entre los inventarios. Para cada uno de los sistemas se presentaron el patrón de riqueza y aspectos de la estructura como el área basal (m²), la densidad absoluta (número de individuos) y la relativa (participación en el conjunto). El área basal se estimó según la fórmula $(3,1416/4) * (DAP)^2 / 10000$. Para complementar el análisis de la estructura se estimaron el índice de valor de importancia (IVI) y el de predominio fisionómico (IPF) (Rangel y Velásquez, 1997).

Las estimaciones del área basal y el número de individuos (densidad absoluta y relativa) se hicieron con base en el tamaño de las parcelas de estudio (1.000 m² cada una). A nivel regional se cubrieron 48.000 m² (48 has). En cada sistema agroforestal los valores variaron y se muestran en las tablas respectivas. Se estimaron las especies asociadas con las parcelas en los sistemas, así como los aportes de los individuos de *T. cacao*. Para comparar los resultados obtenidos en los sistemas agroforestales, también se analizaron los valores del área basal y el número de individuos de *T. cacao* en la condición de plena exposición o cultivo limpio.

El material vegetal se recolectó y preservó según los estándares establecidos y posteriormente fueron enviados al laboratorio de botánica del Herbario Nacional Colombiano –COL–, en donde se secaron y se hizo la determinación taxonómica. El estudio trató de responder a la pregunta sobre la conformación de los patrones de riqueza y de estructura en los arreglos forestales, sus efectos sobre la productividad del cacao y los servicios ecosistémicos derivados. Los resultados servirán, asimismo, de línea de base para futuros estudios.

Resultados y discusión

Patrón de riqueza

A nivel regional se encontraron 26 familias representadas por 52 géneros y 61 especies, con una variación por levantamiento entre 1 y 13 especies y un número promedio de cinco (Tabla 2). Se determinó un grupo de especies de amplia distribución entre las cuales fueron importantes por su frecuencia *Gliricidia sepium*, *Cordia alliodora*, *Amyris pinnata*, *Persea americana* y *Citrus limon*.

Tabla 1. Ubicación de los levantamientos de vegetación en los sistemas agroforestales con cacao en el departamento del Huila

No. parcela	Municipio	Vereda	Altitud (m)	Coordenadas N	Coordenadas O
34	Algeciras	Bella Vista	1093	2° 33' 02,9"	75° 17' 20,8"
36	Algeciras	Bella Vista	1105	2° 33' 06,5"	75° 17' 08,5"
37	Algeciras	Bella Vista	1074	2° 32' 55,5"	75° 17' 30,5"
40	Algeciras	Bella Vista	1066	2° 32' 59,7"	75° 17' 34,9"
28	Algeciras	Bella Vista	1058	2° 32' 49,8"	75° 17' 39,7"
43	Algeciras	Bella Vista	1064	2° 32' 49,2"	75° 17' 38,0"
16	Algeciras	Bella Vista	1094	2° 32' 52,3"	75° 17' 20,7"
49	Algeciras	Lagunilla	1039	2° 32' 32,3"	75° 18' 2,9"
29	Algeciras	Andes Bajos	1052	2° 30' 0,4"	75° 20' 57,2"
42	Algeciras	Andes Bajos	1133	2° 29' 30,5"	75° 21' 02,3"
48	Algeciras	Andes Bajos	1132	2° 29' 39,9"	75° 21' 02,9"
60	Algeciras	Andes Bajos	1123	2° 29' 43,0"	75° 21' 00,9"
57	Algeciras	Santa Lucía	1090	2° 28' 59,9"	75° 21' 52,2"
33	Algeciras	Santa Lucía	1085	2° 29' 10"	75° 21' 54"
32	Algeciras	Santa Lucía	1080	2° 29' 2,1"	75° 21' 56,3"
56	Algeciras	Satias	941	2° 31' 05,9"	75° 20' 22,3"
55	Campoalegre	La Esperanza	533	2° 40' 30,2"	75° 21' 24,6"
8	Campoalegre	La Esperanza	532	2° 40' 26,1"	75° 21' 26,1"
9	Campoalegre	Palmar Bajo	700	2° 41' 20,9"	75° 17' 30,4"
17	Campoalegre	Palmar Bajo	704	2° 40' 32,3"	75° 17' 37,9"
41	Campoalegre	Palmar Bajo	711	2° 40' 31,9"	75° 17' 37,1"
15	Campoalegre	Palmar Bajo	565	2° 41' 57,0"	75° 19' 04,4"
20	Campoalegre	Palmar Bajo	656	2° 41' 04,6"	75° 17' 54,9"
7	Campoalegre	Palmar Bajo	658	2° 41' 06,6"	75° 17' 59,2"
35	Campoalegre	Palmar Bajo	651	2° 41' 07,2"	75° 17' 57,7"
58	Campoalegre	Otas	653	2° 36' 58,4"	75° 20' 15,4"
27	Campoalegre	Llano Sur	619	2° 36' 35,6"	75° 21' 45,3"
52	Campoalegre	Llano Sur	526	2° 40' 45,0"	75° 23' 23,2"
62	Campoalegre	Llano Sur	530	2° 40' 43,9"	75° 23' 20,5"
47	Campoalegre	Palmar Bajo	711	2° 41' 27,6"	75° 17' 29,7"
6	Campoalegre	Vilaco Bajo	596	2° 35' 14,4"	75° 27' 00,2"
13	Rivera	Vilaco bajo	616	2° 36' 46,0"	75° 21' 44,7"
14	Rivera	El Guadual	692	2° 45' 52,7"	75° 15' 50,9"
19	Rivera	Bajo Pedregal	640	2° 47' 08,1"	75° 16' 13,5"
25	Rivera	El Guadual	726	2° 47' 47,6"	75° 14' 20,9"
10	Rivera	Alto Guadual	871	2° 46' 26,5"	75° 13' 34,6"
3	Rivera	Alto Guadual	877	2° 46' 23,2"	75° 13' 34,4"
39	Rivera	Alto Guadual	882	2° 46' 19,6"	75° 13' 36,3"
18	Rivera	El Guadual	787	2° 47' 10,4"	75° 14' 06,2"
61	Rivera	Los Medios	583	2° 48' 34,1"	75° 16' 00,7"
31	Rivera	Los Medios	587	2° 48' 39,3"	75° 15' 50,3"
24	Rivera	Termopilas	863	2° 46' 05,2"	75° 14' 13,3"
54	Rivera	Termopilas	866	2° 46' 10,4"	75° 14' 01,8"
44	Rivera	Ulloa	859	2° 47' 56,8"	75° 13' 13,4"
1	Rivera	El Guadual	702	2° 47' 42,4"	75° 14' 42,1"
50	Rivera	El Guadual	721	2° 47' 42,7"	75° 14' 42,7"
45	Rivera	El Guadual	745	2° 47' 38,3"	75° 14' 22,7"

En cuanto a las familias botánicas, se identificaron 61 especies asociadas con los cultivos de cacao en la zona de estudio (**Tabla 3**), una sola de ellas sin identificar.

Las familias con mayor número de géneros y de especies fueron Fabaceae (9 géneros y 12 especies), Myrtaceae (4 y 5), Moraceae (3 y 5), Rutaceae (3 y 5), Anacardiaceae (4 y 4), Malvaceae (3 y 3) y Arecaceae (2 y 3). Con dos géneros y dos especies se registraron Bignoniaceae, Euphorbiaceae, Lauraceae, Meliaceae y Rubiaceae, y las restantes 14 familias, con un género y una especie.

En los sistemas definidos según la dominancia de especies características, se presentó la siguiente situación (**Tabla 3**).

Sistemas agroforestales dominados por *P. guachapele*: se encontraron 36 especies de 32 géneros y 15 familias. La variación por levantamiento fue entre dos y 11 especies, el número promedio fue de seis.

Sistemas agroforestales dominados por *M. paradisiaca*: 25 especies de 25 géneros y 15 familias, con una variación por levantamiento entre dos y 13 y un número promedio de cinco especies.

Sistemas agroforestales dominados por *E. poeppigiana*: 19 especies de 18 géneros y 11 familias, con una variación por levantamiento entre tres y ocho y un número promedio de cinco especies.

Tabla 2. Especies asociadas con los sistemas agroforestales con cultivos de cacao en el departamento del Huila

Familias botánicas	Especies asociadas con los cultivos de cacao
Anacardiaceae	<i>Anacardium excelsum</i> , <i>Manguifera indica</i> , <i>Spondias mombin</i> , <i>Tapirira guianensis</i>
Annonaceae	<i>Annona muricata</i>
Arecaceae	<i>Bactris gasipaes</i> , <i>B. major</i> , <i>Cocos nucifera</i>
Asteraceae	<i>Piptocoma</i> sp.
Bignoniaceae	<i>Jacaranda caucana</i> , <i>Tabebuia rosea</i>
Boraginaceae	<i>Cordia alliodora</i>
Caricaceae	<i>Carica pubescens</i>
Clusiaceae	<i>Calophyllum brasiliense</i>
Euphorbiaceae	<i>Sapium cuatrecasasii</i> , <i>Tetrorchidium rubrivenium</i>
Fabaceae	<i>Albizia carbonaria</i> , <i>Calliandra pittieri</i> , <i>Enterolobium cyclocarpum</i> , <i>Erythrina fusca</i> , <i>E. poeppigiana</i> , <i>Gliricidia sepium</i> , <i>Inga aff. spectabilis</i> , <i>Inga densiflora</i> , <i>Inga ynga</i> , <i>Pithecellobium dulce</i> , <i>Pseudosamanea guachapele</i> , <i>Senna spectabilis</i>
Lauraceae	<i>Aiouea montana</i> , <i>Persea americana</i>
Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Matisia cordata</i> , <i>Ochroma pyramidale</i>
Meliaceae	<i>Cedrela montana</i> , <i>Guarea guidonia</i>
Moraceae	<i>Artocarpus altilis</i> , <i>Ficus dendrocida</i> , <i>F. hartwegii</i> , <i>Ficus pallida</i> , <i>Maclura tinctoria</i>
Muntingiaceae	<i>Muntingia calabura</i>
Musaceae	<i>Musa paradisiaca</i>
Myrtaceae	<i>Campomanesia lineatifolia</i> , <i>Eucalyptus globulus</i> , <i>Myrcia</i> cf. <i>guianensis</i> , <i>M. paivae</i> , <i>Psidium guajava</i>
Primulaceae	<i>Myrsine guianensis</i>
Rubiaceae	<i>Morinda citrifolia</i> , <i>Psychotria</i> sp. 1
Rutaceae	<i>Amyris pinnata</i> , <i>Citrus limon</i> , <i>C. nobilis</i> , <i>C. sinensis</i> , <i>Murraya paniculata</i>
Salicaceae	<i>Casearia corymbosa</i>
Sapindaceae	<i>Melicoccus bijugatus</i>
Sapotaceae	<i>Pouteria caimito</i>
Urticaceae	<i>Cecropia peltata</i>

Tabla 4. Valores de la frecuencia y la densidad relativas en los sistemas agroforestales (SAF) de la zona de estudio

	Regional		<i>P. guachapele</i>		<i>M. paradisiaca</i>		<i>E. poeppigiana</i>		<i>G. arborea</i>		<i>P. guajava</i>		<i>M. indica</i>		<i>C. alliodora</i>	
	F. rel %	D. rel %	F. rel %	D. rel %	F. rel %	D. rel %	F. rel %	D. rel %	F. rel %	D. rel %	F. rel %	D. rel %	F. rel %	D. rel %	F. rel %	D. rel %
<i>Cordia alliodora</i>	43,8	11,5	69,2	30,9	30,0	4,1	16,7	2,0	25,0	5,6	20,0	4,3	33,3	16,2	57,14	45,04
<i>Gliricidia sepium</i>	43,8	14,1	38,5	4,1	60,0	10,4	33,3	4,1	50,0	21,1	20,0	4,3	NP	NP	57,14	35,88
<i>Amyris pinnata</i>	25,0	3,4	23,1	7,8	40,0	1,2	33,3	10,2	NP	NP	NP	NP	33,3	2,7	28,6	7,6
<i>Persea americana</i>	22,9	2,7	23,1	1,8	30,0	1,2	16,7	6,1	NP	NP	60,0	8,5	33,3	10,8		
<i>Citrus limon</i>	22,9	1,1	23,1	1,4	40,0	0,8	16,7	4,1	NP	NP	20,0	0,6	66,7	8,1		
<i>Cedrela montana</i>	10,4	0,5	7,7	0,5	20,0	0,4	NP	NP	NP	NP	NP	NP	33,3	5,4	14,3	0,8
<i>Carica pubescens</i>	8,3	0,5	15,4	1,8	NP	NP	16,7	2,0	NP	NP	NP	NP	33,3	2,7		
<i>Anacardium excelsum</i>	10,4	0,8	23,1	2,3	NP	NP	16,7	6,1	NP	NP	20,0	0,6	NP	NP		
<i>Ficus pallida</i>	8,3	0,3	7,7	0,5	10,0	0,2	16,7	2,0	NP	NP	NP	NP	33,3	2,7		
<i>Pouteria caimito</i>	4,2	0,3	NP	NP	10,0	0,6	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	14,3	0,8
<i>Pseudosamanea guachapele</i>			100	19,82	10,0	0,4										
<i>Guarea guidonia</i>			30,8	4,15	20,0	0,4							33,3	2,7	14,3	0,8
<i>Citrus nobilis</i>			15,4	1,38												
<i>Annona muricata</i>			15,4	2,8	10,0	1,2	16,7	2,0			40,0	70,1				
<i>Musa paradisiaca</i>			7,7	10,1	100	74,1			25,0	26,8						
<i>Psidium guajava</i>					40,0	1,4										
<i>Erythrina poeppigiana</i>			15,4	4,1	10,0	0,4	100	22,4								
<i>Matisia cordata</i>			7,7	0,5			50	16,3								
<i>Erythrina fusca</i>			7,7	0,5			50	6,1			20,0	1,8	33,3	10,8		
<i>Gmelina arborea</i>									100	40,8451						
<i>Psidium guajava</i>			30,8	3,7					25,0	1,4	100	5,5				
<i>Mangifera indica</i>			7,7	0,5	20,0	0,4	16,7	2,0			40	1,8	100,0	10,8		
<i>Citrus sinensis</i>											20,0	0,6	33,3	2,7		

F. rel: frecuencia relativa; D. rel: densidad relativa; NP: No presente

Tabla 5. Área basal y densidad de las especies acompañantes y de *T. cacao* en los sistemas agroforestales (SAF)

	Especies acompañantes				<i>Theobroma cacao</i>			
	Área basal		Densidad		Área basal		Densidad	
	(m) ²	Relativa %	Número de individuos	Relativa %	(m) ²	Relativa %	Número de individuos	rel. %
Espectro regional	64,30	100	1160	100	56,62	100	4.808	100
SAF de <i>Pseudosamanea guachapele</i>	16,41	25,52	217	18,71	15,83	27,97	1.386	28,83
SAF de <i>Musa paradisiaca</i>	9,78	15,21	491	42,33	10,28	18,16	1.032	21,46
SAF de <i>Erythrina poeppigiana</i>	18,02	28,04	49	4,22	11,43	20,19	747	15,54
SAF de <i>Gmelina arborea</i>	3,16	4,93	71	6,12	4,43	7,84	397	8,26
SAF de <i>Psidium guajava</i>	2,98	4,63	164	14,14	4,85	8,58	433	9,01
SAF de <i>Mangifera indica</i>	10,44	16,24	37	3,19	3,80	6,72	221	4,60
SAF de <i>Cordia alliodora</i>	3,49	5,43	131	11,29	5,97	10,55	592	12,31

Densidad. A nivel regional se contabilizaron 1.160 individuos. El SAF con mayor valor fue el de *M. paradisiaca*, con 491 individuos (42,33 %), seguido por el de *P. guachapele*, con 217 individuos (18,71 %). El menor valor se presentó en el SAF de *M. indica*, con 37 individuos (3,19 %) (**Tabla 5**).

Índice de valor de importancia (IVI). En los 48.000 m² que representan las 48 parcelas delimitadas a nivel regional en diferentes localidades, el mayor valor fue el de *M. paradisiaca*, probablemente por la abundancia de la especie (**Tabla 6**). Le siguieron en importancia *G. sepium* y *C. alliodora*. Los menores valores fueron los de *M. indica* (10,1) y *G. arborea* (14,58). En cuanto a los SAF, el mayor valor lo presentó *G. arborea* (216,6) y la variable que más incidió fue el área basal relativa, seguida por *M. paradisiaca*. El menor valor lo presentó *P. guajava* (106,83).

Área basal y densidad de *Theobroma cacao*

Sistemas agroforestales con especies asociadas. En 47.000 m² a nivel regional el área basal representada por *T. cacao* fue de 56,63 m² (**Tabla 5**). El SAF con mayor valor fue el de *P. guachapele*, con 15,84 m² (28 %), seguido por *E. poeppigiana*, con 11,43 m² (20 %). El menor valor se encontró en el SAF de *M. indica*, con 3,80 m² (7 %). El número total de individuos fue de 4.808, con mayor expresión en el SAF de *P. guachapele* (1.386), en tanto que la más baja se registró en el SAF de *M. indica* (221).

Sitios con libre exposición sin especies asociadas, cultivo limpio. En 11.000 m² se reportaron 1.101 individuos con una variación entre 70 (parcela 4) y 142 (parcela 51). Otras parcelas con valores altos fueron la 51 (142 individuos), la 53 (132) y la 59 (114). La altura promedio fue de 3,5 m; el área basal fue de 15,31 m² con un límite de variación entre 0,46 (parcela 5) y 2,21 m² (parcela 53); otros valores significativos se encontraron en las parcelas 26 (1,75), 59 (1,7) y 51 (1,58).

SAF con y sin cacao (Tabla 7). El área basal (m²/ha) de los SAF al incluir los individuos de cacao varió entre 14,9 (SAF de *C. alliodora*) y 49,1 (SAF de *E. poeppigiana*).

Discusión y conclusiones

Se determinó un grupo de especies características dominantes a nivel regional, entre las cuales figuran *G. sepium*, *C. alliodora*, *A. pinnata* y *P. americana*, de las que los agricultores obtienen madera, frutos, leña y sombra, como se ha señalado en los de estudios en sistemas agroforestales de cacao en Centroamérica (**Jagoret, et al., 2009; Gockowski, et al., 2010; Cerda, et al., 2014; Montagnini, et al., 2015**). En un estudio en Chiapas,

Tabla 6. Índice del valor de importancia (IVI) a nivel regional y local en los sistemas agroforestales (SAF)

	Regional		Local	
	IVI	Área (m ²)	IVI	Área (m ²)
<i>Gliricidia sepium</i>	63,18	48000	-	-
<i>Cordia alliodora</i>	61,02	48000	131,95	7000
<i>Amyris pinnata</i>	28,79	48000	-	-
<i>Persea americana</i>	26,48	48000	-	-
<i>Citrus limon</i>	24,35	48000	-	-
<i>Pseudosamanea guachapele</i>	42,54	48000	167,96	13000
<i>Musa paradisiaca</i>	64,58	48000	212,99	10000
<i>Erythrina poeppigiana</i>	42,20	48000	175,70	6000
<i>Gmelina arborea</i>	14,58	48000	216,60	4000
<i>Psidium guajava</i>	22,58	48000	106,83	5000
<i>Manguijera indica</i>	10,10	48000	115,60	3000

Tabla 7. Área basal y número de individuos en los SAF con cacao y sin este

	Área basal			Individuos		
	SAF con especies asociadas sin cacao	Solo cacao	Total	SAF con especies asociadas sin cacao	Solo cacao	Total
	ha	ha	ha	ha	ha	ha
Espectro regional	13,40	12,05	25,45	241,67	1022,98	1264,65
SAF de <i>Pseudosamanea guachapele</i>	12,62	12,18	24,81	166,92	1066,15	1233,08
SAF de <i>Musa paradisiaca</i>	9,78	10,28	20,06	491,00	1032	1523
SAF de <i>Erythrina poeppigiana</i>	30,05	19,06	49,10	81,67	1245	1326,67
SAF de <i>Gmelina arborea</i>	7,92	11,10	19,02	177,50	992,5	1170
SAF de <i>Psidium guajava</i>	5,96	9,72	15,68	328,00	866	1194
SAF de <i>Mangifera indica</i>	34,82	12,68	47,49	123,33	736,67	860
SAF de <i>Cordia alliodora</i>	4,99	9,96	14,95	187,14	986,67	1173,81

México, una de las especies más abundantes fue *C. alliodora* (Suárez-Venerom, *et al.*, 2019), un resultado predecible al tratarse de una especie extensamente sembrada por el alto valor de su madera.

Se definieron siete arreglos forestales con base en la similitud florística y en las especies dominantes diferenciales. Los que presentaron mayor extensión (área de cultivo) fueron los SAF de *P. guachapele* (13.000 m²), *M. paradisiaca* (10.000 m²) y *E. poeppigiana* (6.000 m²). En estudios en los SAF de cacao en Tumaco (Pacífico de Colombia), Costa Rica y la Amazonía colombiana la especie dominante fue *C. alliodora* (Preciado, *et al.*, 2011; Matey, *et al.*, 2013; Suárez, 2018). En los SAF con cacao de zonas de bosque tropical seco de Nicaragua la especie más importante fue *G. sepium* (Narváez-E., *et al.*, 2015), en tanto que en Ghana (África) predominaron especies de *Musa* y de *Citrus* (Asigbaase, *et al.*, 2019).

En este estudio los arreglos forestales con mayor riqueza fueron el de *P. guachapele* con 36 especies y el de *M. paradisiaca* con 25, debido a que los agricultores las han plantado por su valor de uso en la provisión de frutales y madera, en tanto que las especies de leguminosas las usan para mejorar las condiciones de nitrógeno en el suelo o para alimentación animal de forma similar a lo hallado en Centroamérica por Somarriba, *et al.* (2013). El sistema más pobre fue el de *G. arborea*, con ocho especies, lo que se explica por las preferencias de los productores de sembrar especies maderables aun conociendo que no son especies nativas. Estas acciones han sido promovidas por el Acuerdo Regional de Competitividad de la Cadena de Cacao – Chocolate y su Agroindustria (2004) del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, las gobernaciones del Tolima y Huila y FEDECACAO.

A nivel mundial se menciona una gran variabilidad en la riqueza de especies en los SAF de diferentes regiones, por ejemplo, entre 35 y 95 especies en Talamanca (Costa Rica) (Deheuvels, *et al.*, 2012); entre 21 y 47 especies en Camerún central (Saj, *et al.*, 2013); de 15 a 26 especies en el sureste de Camerún (Sonwa, *et al.*, 2007) y en Alto Beni (Bolivia) (Jacobi, *et al.*, 2014); entre 22 y 35 especies en localidades de Chiapas (México) (Salgado-M., *et al.*, 2007; Suárez-V., *et al.*, 2019), y en la Amazonía colombiana, en sitios con remanentes de bosques, Suárez (2018) encontró 127 especies vegetales asociadas con el cultivo de cacao.

A nivel regional, la altura de los individuos fluctuó entre 3 y 21 m, registrándose el mayor valor mayor en el SAF de *P. guachapele*. En Tabasco (México) en SAF de cacao dominados por *E. americana*, *Cedrela odorata*, *G. sepium*, *Colubrina arborescens* y *Diphysa robinoides* se encontraron alturas entre 2 y 36 m (Sánchez, *et al.*, 2016).

En cuanto a los valores relativos de frecuencia y de densidad, entre las especies características dominaron *C. alliodora* y *G. sepium* y en cada uno de los arreglos forestales se evidenció claramente el dominio de las especies que los caracterizan. En los 48.000 m²

(regional) que se inventariaron, el área basal de 64,30 m² presentó dos arreglos forestales con los valores más altos: el SAF de *P. guachapele*, con 16,41 m² y el de *E. poeppigiana*, con 18,028 m². La participación de *T. cacao* (**Tabla 5**) en el área basal en todos los SAF fue de 56,63 m²; el número total de individuos fue de 4.808, con mayor expresión en el SAF de *P. guachapele* (1.386) y la más baja en el de *M. indica* (221). En los sitios con libre exposición (sin especies asociadas) en un total de 11.000 m² se contaron 1.101 individuos con una variación de 70 (parcela 4) a 142 (parcela 51); la altura promedio fue de 3,5 m y el área basal de 15,31 m².

El área basal de *T. cacao* por hectárea a nivel regional fue de 12 m², con una variación de 19 (SAF de *E. poeppigiana*) a 10 (SAF de *P. guajava*). En términos comparativos, en Nicaragua se registraron 12,8 m²/ha, en Honduras entre 8,6 y 14,2 m²/ha, en Guatemala 10,2 m²/ha, en Costa Rica y Panamá 8,2 m²/ha (**Somarriba, et al., 2012**), en Camerún central entre 6,5 y 8,1 m²/ha (**Jagoret, et al., 2017, 2018**), en Alto Beni (Bolivia), entre 4,3 y 3,1 m²/ha (**Jacobi, et al., 2014**) y en Ghana 10 m²/ha (**Asigbaase, et al., 2019**). El valor promedio encontrado en las fincas del Huila cabe en la variación mencionada en estos países, siendo la expresión más alta (19 m²/ha) la del SAF de *E. poeppigiana*.

El número de individuos de *T. cacao* por hectárea a nivel regional fue de 1.023 y varió entre 1.245 (SAF de *E. poeppigiana*) y 737 (SAF de *M. indica*). En el SAF de Camerún central se registraron entre 1.200 y 1.900 individuos de cacao por hectárea (**Saj, et al., 2013; Jagoret, et al., 2017, 2018**), en Costa de Marfil y en Ghana, entre 700 y 1.250 individuos por hectárea (**Tondoh, et al., 2015**), en Mérida (Venezuela) entre 1.111 y 1.250 individuos por hectárea (**Jaimez, et al., 2013**), en Alto Beni (Bolivia) entre 500 y 625 individuos por hectárea (**Jacobi, et al., 2014**) y en Ecuador entre 500 y 650 individuos por hectárea (**Jadan, et al., 2015**). Los valores en las fincas del Huila fueron inferiores a los de Camerún central y se mantuvieron en los límites de variación de los encontrados en Costa de Marfil y Mérida (Venezuela), en tanto que los encontrados en Ecuador y Alto Beni (Bolivia) fueron inferiores a los del Huila.

En las áreas expuestas libremente al sol, o de cultivo limpio, el área basal de *T. cacao* (15,31 m²) fue casi igual a la del SAF de *P. guachapele* (15,84 m²). En cuanto a este mismo SAF pero con todas las especies incluidas, la diferencia fue mínima (1,1 m²). El número de individuos de *T. cacao* en el cultivo limpio (1,101) se acercó al que se encontró en una superficie de igual extensión en el SAF de *P. guachapele* (1.386) y fue cinco veces mayor al del SAF con todas las especies asociadas (217). En Talamanca (Costa Rica) se encontraron 692 individuos por hectárea en cultivos puros con libre exposición (**Deheuvels, et al., 2012**), valor menor que el estimado en el Huila (1.001 individuos/ha).

Los valores de área basal y de número de individuos de *T. cacao* en los SAF y en el cultivo limpio fluctuaron en el rango de variación reportado en otros países y, en algunos casos, fueron mayores. Estos resultados demuestran que los sistemas agroforestales son beneficiosos, pues incluyen especies que protegen el suelo y proveen servicios ecosistémicos relacionados con la producción de madera, así como elementos de consumo directo.

En una hectárea de robledales andinos húmedos de la cordillera Oriental, entre los 2.600 y los 3.220 m, **Avella, et al. (2017)** encontraron 34 m² de área basal y 593 individuos con un DAP >30 cm, valores de área basal parecidos y un número menor de individuos comparados con los de los SAF de *E. poeppigiana* y de *Manguífera* mencionados por **Minorta-C., et al. (2019)** en palmares de la subregión de la altillanura de la serranía de Manacías localizados en una parcela de una hectárea con 369 m² de área basal y 3.138 individuos de un DAP >30 cm, cifras muy superiores a las obtenidas en los SAF del Huila.

El mayor IVI a nivel regional se encontró en *M. paradisiaca* (64,6) seguido por *G. sepium* (63,18) y *C. alliodora* (61,02), especies que los agricultores aprovechan como fruta, leña y madera, en tanto que los menores valores se encontraron en *M. indica* (10,1) y *G. arborea* (14,58), lo cual se asocia con un escaso desarrollo debido a una mayor intervención antrópica para el aprovechamiento de las especies o para obtener sombra, o por ser plantaciones muy jóvenes.

Los resultados que se presentan servirán de línea de base para conocer más sobre la forma en que los arreglos agroforestales inciden en la productividad y rentabilidad del cultivo del cacao, así como sobre el impacto positivo a largo plazo de dichos sistemas en la sostenibilidad ecológica y financiera.

Información suplementaria

Anexo. Riqueza y distribución de alturas en los sistemas agroforestales de la zona de estudio. Ver anexo en: <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/1183/2894>

Agradecimientos

Al Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), a su Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (SENNOVA), al Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías (FCTeI-SGR-formación de capital humano de alto nivel, convocatoria 677 de 2014, Doctorado – Nacional); al Instituto de Ciencias Naturales de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia. Las sugerencias de los evaluadores sirvieron para consolidar la versión final.

Contribución de los autores

Los datos de campo fueron recolectados de la tesis de doctorado de Claudia Mercedes Ordoñez, dirigida por J. Orlando Rangel-Ch. La fase analítica del manuscrito fue adelantada por los dos autores, así como la discusión y las conclusiones.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no hay ningún conflicto de intereses.

Referencias

- Asigbaase, M., Sjogersten, S., Lomax, B.H., Dawoe, E.** (2019). Tree diversity and its ecological importance value in organic and conventional cocoa agroforests in Ghana. *PloS one*. **14** (1). Doi: 10.1371/journal.pone.0210557
- Avella-Muñoz, E.A., Rangel-Churio, J.O, Toro, J.L.** (2017). Los bosques de roble (*Quercus humboldtii*) en Colombia: aspectos florísticos, estructurales y sintaxonómicos. En J.O. Rangel-Ch. (ed.). Colombia diversidad biótica XV: Los bosques de robles (Fagaceae) en Colombia. Composición florística, estructura, diversidad y conservación (p. 11-122). Bogotá D.C. Colombia: Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia.
- Cerda, R., Deheuvels, O., Calvache, D., Niehaus, L., Saenz, Y., Kent, J, Somarriba, E.** (2014). Contribution of cocoa agroforestry systems to family income and domestic consumption: looking toward intensification. *Agroforestry systems*: **88** (6): 957-981.
- Cuatrecasas, J.** (1964). Cacao and its allies: A taxonomic revision of the genus *Theobroma*. *Contributions to the U.S. National Herbarium*. **35**: 379-614.
- Deheuvels O., Avelino J., Somarriba, E., Malezieux, E.** (2012). Vegetation structure and productivity in cocoa-based agroforestry systems in Talamanca, Costa Rica. *Agriculture, ecosystems and environment*. **149**: 181-188.
- FAOSTAT.** (2014). *Production/yield quantities of cocoa beans in world*. Fecha de consulta: 6 de agosto de 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Figueroa-C., Y.** (2004). Guía ilustrada de la flora del desierto de La Tatacoa, Huila, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*; Bogota. **9** (2): 88 pp.
- Gockowski, J., Tchatat, M., Dondjang, J.P., Hietet, G., Fouda, T.** (2010). An empirical analysis of the biodiversity and economic returns to cocoa agroforests in southern Cameroon. *Journal of Sustainable Forestry*. **29** (6-8): 638-670.
- González-Orozco, C.E., Galán, A.A.S., Ramos, P.E.** (2020). Exploring the diversity and distribution of crop wild relatives of cacao (*Theobroma cacao* L.) in Colombia. *Genet Resour Crop Evol*. **67**: 2071-2085. Doi: 10.1007/s10722-020-00960-1
- Jagoret, P., Michel, I., Ngnogué, H.T., Lachenaud, P., Snoeck, D., Malézieux, E.** (2017). Structural characteristics determine productivity in complex cocoa agroforestry systems. *Agronomy for Sustainable Development*. **37** (6): 60.

- Jagoret, P., Snoeck, D., Bouambi, E., Ngnogue, H. T., Nyassé, S., Saj, S.** (2018). Rehabilitation practices that shape cocoa agroforestry systems in Central Cameroon: key management strategies for long-term exploitation. *Agroforestry Systems*. **92** (5): 1185-1199.
- Jagoret, P., Ngogue, H.T., Bouambi, E., Battini, J.L., Nyassé, S.** (2009). Diversification des exploitations agricoles à base de cacaoyer au Centre Cameroun: mythe ou réalité? *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*. **13** (2): 271-280.
- Jaimez, R.E., Araque, O., Guzman, D., Mora, A., Espinoza, W., Tezara, W.** (2013). Agroforestry systems of timber species and cacao: Survival and growth during the early stages. *J. Agr. Rural Dev. Trop.* **114** (1): 1-11.
- Jacobi, J., Andres, C., Schneider, M., Pillco, M.** (2014). Carbon stocks, tree diversity, and the role of organic certification in different cocoa production systems in Alto Beni, Bolivia. *Agroforest. Syst.* **88**: 1117-32. Doi: 10.1007/s10457-013-9643-8
- Jadán, O., Cifuentes, M., Torres, B., Selesi, D., Veintimilla, D., Günter, S.** (2015). Influence of tree cover on diversity, carbon sequestration and productivity of cocoa systems in the Ecuadorian Amazon. *Bois et forêts des tropiques*. **325** (3): 35-47.
- Matey, A., Zeledón, L., Orozco, L., Chavarría, F., López, A., Deheuvels, O.** (2013). Composición florística y estructura de cacaotales y parches de bosque en Waslala, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*. **49**: 61-67.
- Mata-Anchundia, D., Rivero-Herrada, M., Segovia-Montalván, E.L.** (2018). Sistemas agroforestales con cultivo de cacao fino de aroma: entorno socio-económico y productivo. *Rev. Cubana de Cienc. Forest.* **6** (1):103-115
- Minorta-C., V., Rangel-Ch., J.O., Castro-L., F., Aymard, G.** (2019). La vegetación de la serranía de Manacacias (Meta) Orinoquía colombiana. En: J.O. Rangel-Ch. (ed.). *Colombia Diversidad Biótica XVII. La región de la Serranía de Manacacias (Meta) Orinoquía colombiana*: 155-234. Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales. Parques Nacionales Naturales. Bogotá, D.C.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – MADR.** (2004). Acuerdo regional de competitividad cadena cacao-chocolate región Tolima- Huila. Fecha de consulta: 28 de julio de 2019. Disponible en: <https://www.huila.gov.co/loader.php?lServicio=Tools2&lTipo=descargas&lFuncion=descargar&idFile=2820>
- Montagnini, F., Somarrriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., Eibl, B.** (2015). *Sistemas agroforestales funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. Editorial CIPAV. 454 pp. Cali, Colombia.
- Motamayor, J.C., Risterucci, A.M., Lopez, P.A., Ortiz, C.F., Moreno, A., Lanaud, C.** (2002). Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity*. **89**: 380-386.
- Narváez-Espinoza, O., González-Rivas, B., Castro-Marin, G.** (2015). Composición, estructura, diversidad e incremento de la vegetación arbórea secundaria en trópico seco en Nandarola, Nicaragua. *Revista científica La Calera*. **15** (25): 111-116.
- Oficina Asesora de Planeación y Prospectiva – MADR.** (2019). Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA). Fecha de consulta: 28 de julio de 2020. Disponible en: <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- International Cocoa Organization – ICCO.** (2014). Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics. Vol. XL, No. 1, Cocoa year 2013/14.
- International Cocoa Organization – ICCO.** (2018): Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics. Volume XLIV No. 1, Cocoa Year 2017/18.
- Preciado, O., Ocampo, C.I., Possú, W. B.** (2011). Caracterización del sistema tradicional de producción de cacao (*Theobroma cacao* L.), en seis núcleos productivos del municipio de Tumaco, Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*. **28** (2): 58-69.
- Presidencia de la República.** (2016/01/21). Producción de cacao aumenta en 2015 y se consolida como cultivo clave en el posconflicto. Fecha de consulta: 28 de julio de 2020. Disponible en: <http://es.presidencia.gov.co/noticia/Produccion-de-cacao-aumenta-en-2015-y-se-consolida-comocultivo-clave-en-el-pos-conflicto>
- Rangel-Ch., J.O. & Velázquez, A.** (1997). Métodos de estudio de la vegetación. En: J.O. Rangel-Ch, P. Lowy-C. y M. Aguilar-P. (eds.). *Colombia diversidad biótica II: Tipos de vegetación en Colombia*. (59-87). Bogotá D.C. Colombia. Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia.
- Rapidel., B., Ripoché, A., Allinne, C., Metay, A., Deheuvels, O., Lamanda, N., Blazy, J.M., Valdés-Gómez, H., Gary, C.** (2015). Analysis of ecosystem services trade-offs to design agroecosystems with perennial crops. *Agron Sustain Dev*. **35**: 1373-1390. Doi: 10.1007/s13593-015-0317-y

- Ricaño-Rodríguez, J., Ramos-Prado, J.M., Cocoltzi-Vásquez, E., Hipólito-Romero, E.** (2018). El estudio genómico del cacao (*Theobroma cacao* L.); breve recopilación de sus bases conceptuales. *Agroproductividad*. **11** (9): 29-35.
- Richardson, J.E, Whitlock, B.A., Meerow, A.W., Madriñán, S.** (2015). The age of chocolate: a diversification history of *Theobroma* and Malvaceae. *Front Ecol Evol*. **3** (120): 1-14.
- Richardson, J.E, Madriñán, S., Gómez-Gutiérrez, M.C, Valderrama, E., Luna J., Banda-R, K., Serrano, J., Torres, M.F., Jara, O.A., Aldana, A.M., Cortes-B, R., Sánchez, D., Montes, C.** (2018). Uso de filogenias moleculares fechadas para ayudar a reconstruir la historia geológica, climática y biológica: ejemplos de Colombia. *Revista geológica*. **53**: 2935-2943. <https://doi.org/10.1002/gj.3133>
- Rodríguez-Medina, C., Caicedo Arana, A., Sounigo, O., Argout, X., Alvarado, G. A.** (2019). Cacao breeding in Colombia, past, present and future. *Breed. Sci.* **69**: 373-382. Doi: 10.1270/jsbbs.19011
- Saj, S., Jagoret, P., Ngogue, H.T.** (2013). Carbon storage and density dynamics of associated trees in three contrasting *Theobroma cacao* agroforests of Central Cameroon. *Agroforest. Syst.* **87**: 1309-20. Doi: 10.1007/s10457-013-9639-4
- Sánchez-Gutiérrez, F., Pérez-Flores, J., Obrador, J.J., Sol-Sánchez, Á., Ruiz-Rosado, O.** (2016). Estructura arbórea del sistema agroforestal cacao en Cárdenas, Tabasco, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. **7** (spe14): 2695-2709. Fecha de consulta: 6 de marzo de 2020. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016001002695&lng=es&tlng=es
- Salgado-Mora, M.G., Ibarra-Núñez, G., Macias-Samano, J. E., López-Báez, O.** (2007). Diversity of shade trees in cacao plantations of Soconusco, Chiapas, Mexico. *Interciencia*. **32**: 763-8.
- Sonwa, D.J., Nkongmeneck, B.A., Weise, S.F., Tchatat, M., Adesina, A.A., Janssens, M.J.** (2007). Diversity of plants in cocoa agroforests in the humid forest zone of Southern Cameroon. *Journal Biodiversity and Conservation*. **16** (8): 2385-2400.
- Somarriba, E., Beer, J., Alegre-Orihuela, J., Andrade, H.J., Cerda, R., Declerck, F, ..., Krishnamurthy, L.** (2012). Mainstreaming agroforestry in Latin America. In: P. Nair y D. Garrity (eds). *Agroforestry - The Future of Global Land Use*. *Advances in Agroforestry*. Springer. 453 pp. Dordrecht, Holanda.
- Somarriba, E. & Lachenaud, P.** (2013). Successional cocoa agroforests of the Amazon–Orinoco–Guiana shield. *Forests, Trees and Livelihoods*. **22** (1): 51-59.
- Somarriba E., R., Cerda., L Orozco., M. Cifuentes., ..., O. Deheuvels.** (2013). Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. *Agric. Ecosyst. Environ.* **173**: 46-57.
- Suárez, J.C.** (2018). Comportamiento ecofisiológico de *Theobroma cacao* L. en diferentes arreglos agroforestales bajo condiciones de la Amazonia Colombiana. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá. Repositorio institucional. 147 pp.
- Suárez-Venero, G.M., Avendaño-Arrazate, C.H., Ruiz-Cruz, P.A., Estrada-de-los-Santos, P.** (2019). Structure and impact of taxonomic diversity on cocoa of Soconusco, Chiapas, México. *Agronomía Mesoamericana*. **30** (2): 353-365.
- Young, A.M.** (1994). *The Chocolate Tree: A Natural History of Cacao*. Smithsonian Institution Press. 200 pp. Washington. DC.
- Thomas, E., van Zonneveld, M., Loo, J., Hodgkin, T., Galluzzi, G., van Etten, J.** (2012). Present spatial diversity patterns of *Theobroma cacao* L. in the neotropics reflect genetic differentiation in pleistocene refugia followed by human-influenced dispersal. *PLoS ONE*. **7**: e47676. Doi: 10.1371/journal.pone.0047676
- Tondoh, J E., Kouame, F.N.G., Guéi, A.M., Sey, B., Kone, A.W., Gnessougou, N.** (2015). Ecological changes induced by full-sun cocoa farming in Cote d'Ivoire. *Global Ecology and Conservation*. **3**: 575-595.
- Zarrillo, S., Gaikwad, N., Lanaud, C., Powis, T., Valdez, F.** (2018). The Use and Domestication of *Theobroma cacao* during the Mid-Holocene in the Upper Amazon. *Nature Ecology & Evolution*. **2** (12): 1879-1888.