



CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS AGROFORESTALES CON CACAO
(*Theobroma cacao* L) EN TRES MUNICIPIOS DEL DEPARTAMENTO DE
BOYACÁ, COLOMBIA †

[CHARACTERIZATION OF AGROFORESTRY SYSTEMS WITH COCOA
(*Theobroma cacao* L) IN THREE MUNICIPALITIES OF THE DEPARTMENT OF
BOYACÁ, COLOMBIA]

**Diego Armando Ruiz-Russi¹, Laura D. Escobar-Pachajoa²,
Felipe Montealegre-Bustos², Donald Adrian Galvis-Neira²,
Jorge Enrique Camacho-Díaz², Yeirme Yaneth Jaimes-Suárez²
and Jairo Rojas-Molina^{2*}**

¹ Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-UPTC. Avenida Central del Norte 39-115. Tunja, Boyacá, Colombia.

² Centro de Investigación La Suiza, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia). Km 32 vía al mar. Rionegro, Santander, Colombia.

Email: jrojas@agrosavia.co

*Corresponding author

SUMMARY

Background: In Colombia, most traditional cocoa crops are developed under agroforestry systems (SAF), associating shrubs and trees that provide shade for cocoa. They generate additional economic income and various ecosystem services. **Objective:** To characterize agroforestry systems with cocoa in three municipalities in eastern Boyacá (Miraflores, Berbeo, and Páez) belonging to the province of Lengupá. **Methodology:** A semi-structured interview was applied in 15 selected farms to learn about socioeconomic aspects, agronomic management of cocoa, and the use and management of trees. The botanical and structural composition and the Simpson (S), Shannon-Weaver (H'), and Jaccard (J) plant diversity indices were determined. **Results:** Cocoa producers in that region develop smallholder production under agroforestry systems with irregular tree species distribution, which are used for wood, firewood, shade, and food. At the regional level, 189 forest individuals accompanying cocoa were found, grouped into 18 families, 17 genera, and 28 species. The municipality of Berbeo presented the highest abundance (73 individuals), followed by Miraflores (67) and finally, Páez (49). In Berbeo, the species with a high importance value index (IVI) were *Ceiba pentandra* and *Cedrela odorata* (35 and 33, respectively), in Miraflores *Trichanthera gigantea* and *Persea americana* (44 and 42) and, in Páez *Cedrela odorata* (104). **Implications:** The selective felling of forests in SAF with cocoa, which intensifies the production of wood, has favored the loss of diversity; Therefore, the floristic composition studies serve as a basis to identify other potential forest species for the establishment of SAF to promote the diversification of the productive system and contribute to its resilience and sustainability. **Conclusion:** The agroforestry systems with cocoa in three municipalities in eastern Boyacá presented a differential composition and diversity, marked by a lower diversity in the municipality of Páez, where the species *C. odorata* had greater representation, related to the affinity of farmers for timber species of commercial interest.

Key Words: Floristic composition; tree species; index of importance value; agroforestry system; *Theobroma cacao* L.

RESUMEN

Antecedentes: En Colombia la mayoría de los cultivos tradicionales de cacao se desarrollan bajo sistemas agroforestales (SAF), asociando arbustos y árboles que proporcionan sombra al cacao; además, generan ingresos económicos adicionales y diversos servicios ecosistémicos. **Objetivo:** Caracterizar sistemas agroforestales con cacao en tres municipios del oriente de Boyacá (Miraflores, Berbeo y Páez) pertenecientes a la provincia de Lengupá. **Metodología:** Se aplicó una entrevista semiestructurada en 15 fincas seleccionadas para conocer aspectos socioeconómicos, manejo agronómico del cacao, uso y manejo de árboles. Se determinó la composición botánica, estructural e índices de diversidad vegetal de Simpson (S), Shannon-Weaver (H') y Jaccard (J). **Resultados:** Los

† Submitted February 20, 2023 – Accepted June 14, 2023. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4801>



Copyright © the authors. Work licensed under a [CC-BY 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = Diego Armando Ruiz-Russi: <http://orcid.org/0000-0002-0466-2541>, Laura D. Escobar-Pachajoa: <http://orcid.org/0000-0002-9825-461X>, Felipe Montealegre-Bustos: <http://orcid.org/0000-0001-7757-6508>, Donald Adrian Galvis-Neira: <http://orcid.org/0000-0003-3694-5551>, Jorge Enrique Camacho-Díaz: <http://orcid.org/0000-0002-5848-9502>, Yeirme Yaneth Jaimes-Suárez: <http://orcid.org/0000-0002-7942-0598>, Jairo Rojas-Molina: <http://orcid.org/0000-0003-3929-9487>

productores de cacao de esa región desarrollan una producción minifundista bajo sistemas agroforestales con distribución irregular de las especies arbóreas, que son empleadas para madera, leña, sombrío y alimentación. A nivel regional se encontraron 189 individuos forestales acompañantes del cacao; agrupados en 18 familias, 17 géneros y 28 especies. El municipio de Berbeo presentó la mayor abundancia (73 individuos), seguido por Miraflores (67) y finalmente Páez (49). En Berbeo las especies con alto índice de valor importancia (IVI) fueron Ceiba *pentandra* y *Cedrela odorata* (35 y 33 respectivamente), en Miraflores *Trinchanthera gigantea* y *Persea americana* (44 y 42) y en Páez *Cedrela odorata* (104). **Implicaciones:** La tala selectiva de especies forestales en SAF con cacao, que intensifica la producción de madera, ha favorecido la pérdida de la diversidad; por lo cual, los estudios de composición florística sirven de base para identificar otras especies forestales potenciales para el establecimiento de SAF, con el fin de promover la diversificación del sistema productivo y contribuir a su resiliencia y sostenibilidad. **Conclusión:** Los sistemas agroforestales con cacao en tres municipios del oriente de Boyacá presentaron una composición y diversidad diferencial, marcada por una menor diversidad en el municipio de Páez, donde la especie *C. odorata* tuvo mayor representatividad, relacionada con la afinidad de los agricultores por especies maderables de interés comercial.

Palabras Clave: Composición florística, diversidad, índice de valor de importancia, sistema agroforestal, *Theobroma cacao* L.

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una especie que procede de la zona de influencia del Río Amazonas y es cultivada en gran parte del mundo (Kadow *et al.*, 2015). La producción de su grano es de importancia internacional debido a su potencial para la elaboración de diferentes productos (Contreras, 2017), reportándose una cosecha mundial de 5,7 millones de toneladas métricas (Tm) de cacao en grano en un área de 12 millones de hectáreas en el año 2020 (FAOStat, 2021). En Colombia existen 188.000 hectáreas de cacao cultivadas por 65.341 familias productoras, con bajos niveles de tecnificación y productividad, ubicadas en zonas económicamente deprimidas y en muchos casos con orden público difícil, en donde se ha usado como alternativa para sustitución de cultivos ilícitos (León *et al.*, 2019; MADR, 2021).

Gran parte de los sistemas productivos cacaoteros en Boyacá, asocian distintos cultivos transitorios (maíz, frijol, ahuyama) que generan un ingreso a corto plazo y/o aportan a la seguridad alimentaria. Además, se integran especies perennes que generan sombrío permanente al cacao, proveen madera, servicios ecológicos y ambientales (Álvarez-Carrillo *et al.*, 2012; Somarriba *et al.*, 2013; Middendorp *et al.*, 2018; Fedecacao, 2022); por tanto, los sistemas agroforestales con cacao (SAF) en esta zona se convierten en una alternativa económica importante. En esta región se destaca un incremento productivo sustancial del grano de cacao durante los últimos diez años (400%), registrando 2.426 Tm cosechadas en el año 2021 en 4.985 hectáreas sembradas, beneficiando a 1.312 productores (UPRA, 2022).

Con el conocimiento de la estructura y composición de los sistemas agroforestales, se puede romper ciertos paradigmas negativos que se tienen sobre ellos, como la percepción de una baja productividad y que no se puede valorar la importancia y función de cada una de las especies que componen el sistema, teniendo en cuenta que hay una diversidad de especies y

combinaciones de estas (Jagoret *et al.*, 2017; Saj *et al.*, 2017). De acuerdo con Avendaño-Arrazate *et al.* (2021) el conocimiento de esta diversidad y de la importancia de las especies forestales, permite hacer diseño de plantaciones eficientes, que permitan escalar la productividad y asegurar las sostenibilidad económica y ambiental como cultivo perenne (Obiri, 2007; Nunoo y Owusu, 2017) y no hacer recomendaciones indiscriminadas de un solo sistema productivo a nivel regional, sino que se basen en las condiciones particulares de suelo y clima (Vaast y Somarriba, 2014).

Teniendo en cuenta lo anterior el conocimiento de los sistemas agroforestales en cuanto a su estructura y composición, sirve para conocer las interacciones entre los componentes del sistema agroforestal y el impacto que han tenido los factores socioeconómicos y culturales en su estado actual, que son insumos necesarios para el diseño de nuevos sistemas agroforestales. En este contexto, el presente estudio caracterizó la composición, estructura y diversidad florística de sistemas agroforestales con cacao y su entorno socioeconómico en tres municipios de Boyacá, Colombia.

METODOLOGÍA

Área de estudio

La Provincia de Lengupá se localiza al oriente del Departamento de Boyacá, Colombia. El estudio se enfocó en los tres municipios con mayor cultura cacaotera de la región (Miraflores, Berbeo y Páez). Esta región presenta un ecosistema típico del Bosque seco premontano, ubicada entre los 900 y 1500 msnm, con una temperatura promedio de 24°C. Allí predominan ecosistemas con vegetación semidensa de árboles, en donde prevalece el clima seco con estaciones lluviosas cortas que aportan una precipitación anual de 500 a 1000 mm (SIMAP, 2015). Los municipios de Miraflores y Berbeo presentan un relieve moderado a fuertemente quebrado, con

pendientes entre 12 y 50%, afectados por movimientos en masa y erosión hídrica ligera. En Páez el relieve es moderadamente escarpado, con pendientes entre 50-75%, afectados por movimientos en masa (IGAC, 2004).

Caracterización socioeconómica

Se utilizó información secundaria del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) en relación con datos demográficos y de pobreza. Además, se realizaron cinco entrevistas semiestructuradas a productores en cada municipio, en donde se registró información sobre el sistema productivo, su manejo y las relaciones con los árboles forestales en el cultivo.

Caracterización florística

En las cinco fincas encuestadas por municipio se delimitó una parcela de muestreo de 1000 m², en la cual se realizó el inventario de los individuos de las especies asociadas al cultivo de cacao registrando la circunferencia al pecho (CAP) de los individuos con medida superior a 31.4 cm, a partir de lo cual se determinó el diámetro al pecho (DAP); a su vez, se registró la altura total (m) y el área de la copa (m²), acorde a la metodología empleada por Rojas *et al.* (2021). Simultáneamente se tomaron muestras vegetales de árboles y arbustos, que se preservaron y enviaron al laboratorio de botánica del herbario de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia en donde se realizó la determinación taxonómica. La composición florística para cada municipio fue caracterizada de acuerdo con número de familias, géneros y especies (Jadán *et al.*, 2016).

Análisis de la información

La estructura horizontal se analizó mediante el cálculo de la abundancia, frecuencia y dominancia en su valor absoluto y relativo (Mena *et al.*, 2020). A partir de los valores relativos, se calculó el Índice de Valor de Importancia (IVI), que permite comparar el peso ecológico de cada especie dentro del agroecosistema estudiado (Alvis, 2009).

$$Ar = \frac{\text{Número de individuos por especie}}{\text{Número de individuos en el área muestreada}} * 100 \quad (1)$$

$$F_a = \frac{\text{Número de unidades de muestreo en que ocurre una especie}}{\text{Número total de unidades de muestreo}} * 100 \quad (2)$$

$$F_r = \frac{\text{Frecuencia absoluta de una especie}}{\text{Suma total de frecuencias absolutas}} * 100 \quad (3)$$

$$D_r = \frac{\text{Área basal de cada especie}}{\text{Área basal total en el área muestreada}} * 100 \quad (4)$$

$$IVI = Ar\% + Fr\% + Dr\% \quad (5)$$

Para analizar la distribución en diámetro se crearon histogramas de distribuciones diamétricas (Manzanilla *et al.*, 2020).

Para la caracterización de la estructura vertical se definieron tres zonas de altura: zona I (80 a 100 % de la altura máxima); zona II (50 a 80 % de la altura máxima) y zona III (de 1 a 50 % de la altura máxima) (Pretzsch, 2009).

La diversidad florística por municipio se analizó mediante el Índice de Riqueza de Shannon-Weaver, Índice de Simpson e Índice de Similaridad de Jaccard (J) (Fórmulas 6, 7 y 8 respectivamente) (Magurran, 1988). Para el cálculo de estos índices se tuvo en cuenta la información del número de individuos y de especies encontradas en 5 fincas por municipio, empleando el programa PAST (Hammer *et al.*, 2001).

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i \quad (6)$$

Dónde:

H': diversidad de Shannon-Weaver

S: número de especies (la riqueza de especies)

Pi: proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos

$$\lambda = \sum S p_i^2 \quad (7)$$

Donde:

λ: diversidad de Simpson

S: número de especies (la riqueza de especies)

Pi: abundancia proporcional de la especie i, es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

$$\text{Índice de Jaccard} = \frac{c}{(a + b - c)} \quad (8)$$

Donde:

a: número de especies presentes en el sitio A

b: número de especies presentes en el sitio B

c: número de especies presentes en ambos sitios A y B

El análisis de la diversidad florística se complementó con un análisis multivariado de los datos y construcción de gráficos de correspondencia mediante el programa PAST (Alvarado, 2017); así como también, se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey ($p > 0.05$) empleando el programa Infostat, para analizar si hubo diferencias significativas entre los índices de riqueza entre municipios. Para realizar la prueba de comparación de medias se emplearon los valores de los índices de diversidad calculados para cada una de las fincas (5 por municipio), que se tomaron como repetición en cada

municipio. Esta información permitió validar la hipótesis alternativa, en la cual la diversidad es diferente entre municipios.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización socioeconómica

De acuerdo con el Censo Nacional de Población y Vivienda (DANE, 2018), los municipios de Berbeo, Miraflores y Páez presentan un Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) de 15.5%, 7.7% y 13.30% respectivamente; sin embargo, el departamento de Boyacá presenta un índice promedio de 10.04% y Colombia de 14.13%, siendo los municipios de Berbeo y Páez, los que presentan índice NBI por arriba de la media departamental.

Con relación a las características de la población presente en estos municipios para el año 2021, se estimó para Berbeo un total 1,593 habitantes (28% Urbano y 72% Rural), en Miraflores 9,079 habitantes (61% Urbano y 39% Rural) y en Páez 3,267 habitantes (44% Urbano y 56% Rural). La distribución por género se mantiene similar al comportamiento nacional, en el cual 51% son hombres y 49% son mujeres (DANE, 2018). De acuerdo con las edades de los productores de cacao en la región, se estima que la edad promedio de las mujeres es de 53 años y de los hombres 56 años. Considerando la agrupación por edades, el 62% de los productores y productoras se encuentran entre los 27 - 59 años, el 37% son mayores de 60 años, siendo tan solo de 1% la participación de productores y productoras entre los 18 - 26 años (Fedecacao, 2022). Lo anterior evidencia la baja contribución de la población joven como productores en la cadena de valor de cacao; por lo cual, es importante ofrecer incentivos y garantías para que los jóvenes participen en desarrollo de su territorio y con ello en los sistemas de producción presentes en él a partir de sus proyectos de vida rural (Jurado y Tobasura, 2012; Erazo *et al.*, 2022).

En cuanto al sistema productivo de cacao, el 80% de los productores tiene hasta una hectárea sembrada, esto se corroboró con la caracterización nacional realizada por la Federación Nacional de Cacaoteros, en la cual para estos municipios el área promedio de cacao fue de 0.75 a 1 ha; además Fedecacao reportó que el 25% de la hectárea sembrada en esta región tiene cacao híbrido y el 75% es clonado (Fedecacao, 2022). Los productores entrevistados en esta investigación afirmaron cultivar principalmente las variedades de cacao CCN51, EET08, algunos clones de Agrosavia y materiales híbridos. Con relación a la edad del cultivo los productores afirmaron tener cultivos muy jóvenes principalmente de 4 a 6 años.

Por otra parte, con relación a los niveles de producción que logran los productores entrevistados, el 47%

producen hasta 125 kg. ha⁻¹, el 33% producen de 125 kg. ha⁻¹ a 250 kg. ha⁻¹ y el 20% de las fincas producen más de 250 kg. ha⁻¹ de grano seco. Sin embargo, de acuerdo con el estudio de FEDECACAO, en estos municipios el promedio de producción está entre 343 kg. ha⁻¹ a 362 kg. ha⁻¹ (Fedecacao, 2022); esta diferencia se presenta, dado que los cultivos visitados en este estudio fueron relativamente jóvenes; por lo tanto, no han logrado sus niveles máximos de producción por hectárea.

Con respecto al manejo agronómico del cultivo, el 60% de los productores entrevistados afirmaron realizar una poda al año y el 40% realiza dos podas al año, resultados similares a los encontrados por Fedecacao (2022), en la caracterización de esta región; en la cual también se reportó que el 61% de los productores realizan fertilización; en lo encontrado en el presente estudio el 93% los productores fertilizan, sin embargo 53% lo realizan una vez al año y el 40% dos veces al año.

Por otra parte, en todos los sistemas productivos visitados se encontró que existe al menos una especie forestal asociada al cultivo de cacao, sin embargo, los productores no realizan actividades de mantenimiento a los forestales. Los árboles presentan una distribución irregular y el 87% de los productores entrevistados afirmó no realizar ninguna actividad de mantenimiento forestal. En cuanto a los efectos de los árboles forestales en el cultivo de cacao, los productores consideraron que su presencia genera un microclima apropiado para el cultivo. Con relación a los usos forestales se destacó la obtención de madera, leña, sombrío y alimentación; por lo cual, las características que tienen en cuenta para la selección de las especies forestales son: el rápido crecimiento, la calidad de la madera, el tipo de copa para el sombrío del cacao y el beneficio económico, estas especies forestales ya se encontraban en el predio. Para finalizar, los productores de la región afirmaron recibir ingresos adicionales al cacao, mediante cultivos de café, cítricos y ganadería, actividades son desarrolladas en otras zonas diferentes al cacao, información que se asemeja a lo reportado por FEDECACAO en su caracterización de productores 2017 - 2021 (Fedecacao, 2022).

Composición florística e índice de valor de importancia

A nivel regional se registraron 189 individuos forestales acompañantes; agrupados en 18 familias, 17 géneros y 28 especies. El municipio de Berbeo presentó la mayor abundancia con 73 individuos pertenecientes a 14 familias. El segundo municipio con mayor abundancia fue Miraflores con 67 individuos, agrupados en 10 familias. Mientras que la menor abundancia se presentó en el municipio de Páez, con 49 individuos distribuidos en 8 familias (Tabla 1).

Dentro de las especies relacionadas se encuentra que el 21% (6 especies) representan especies introducidas. Se encontró que *C. odorata* fue la única especie en categoría “Vulnerable” (IUCN, 2022). Los usos más representativos de estas especies fueron maderable, frutal y sombrío (Tabla 1).

La familia botánica con mayor importancia (Figura 1) en el municipio de Berbeo fue Meliaceae, con un valor IVI de 61.1 representada por 18 individuos; seguida por la familia Fabaceae que con 8 individuos presentó un IVI de 46.4. En Miraflores la familia Fabaceae fue la más representativa con IVI de 62.1; representada por 10 individuos, seguida por la familia Acanthaceae con IVI de 44.1 representada por 10 individuos. En el municipio de Páez la familia con mayor IVI fue Meliaceae con valor de 104.6, representada por 18 individuos, seguida por la familia Boraginaceae que, con 10 individuos, presentó un valor de IVI de 54.4. En el mismo contexto, las familias con menor predominancia en Berbeo y Miraflores, representado por un valor IVI menor a 10.0 fueron Polygonaceae y Urticaceae, para el caso de Páez las familias Bignoniaceae y Myrtaceae que, con solo un individuo, presentaron el menor valor IVI con 8.0 y 9.0 respectivamente.

En la región se destaca la importancia de las familias Meliaceae, Rutaceae y Fabaceae (Figura 1). Estos resultados coinciden con estudios realizados en sistemas agroforestales con cacao en Colombia, en donde se destaca la importancia de las familias Fabaceae y Rutaceae (Zapata, 2019; Ordoñez y Rangel 2020). Estudios en SAF con cacao en México destacan a Fabaceae, Meliaceae, Rutaceae y Moraceae como las familias con mayor diversidad (Roa et al., 2009; Ramírez et al., 2013; Sánchez et al., 2016; Suárez et al., 2019). En Brasil y Ghana también se reporta a Fabaceae como una de las familias con mayor riqueza (Asase & Tetteh, 2010; Braga et al., 2018). La importancia de estas familias puede estar relacionada con un factor socioeconómico y cultural que direcciona el objetivo y preferencia de cada productor. En este estudio la familia Meliaceae que destacó e los tres municipios está conformada principalmente por *Cedrela odorata*, una especie maderable con valor comercial (Jadán et al., 2016); de igual manera, la familia Boraginaceae importante en el municipio de Páez, está representada por la especie *Cordia alliodora* para la cual es ampliamente reconocida por su potencial maderable. Por otra parte, la familia Rutaceae ha sido reportada entre las familias más comunes en SAF con cacao, destacando que son usadas por las características de frutal comestible, lo cual representa un beneficio económico adicional para el productor de cacao (Roa et al. 2009; Solarte et al., 2022). En los municipios Berbeo y Miraflores, se destacó la importancia de la familia Fabaceae, que cumple un rol importante en la conservación de suelos

debido a sus altas tasas de fijación biológica de nitrógeno (FBN) que mejoran la fertilidad del suelo (Bianco, 2020).

A nivel de especies, *Ceiba pentandra* y *Cedrela odorata* presentaron el mayor IVI en el municipio de Berbeo con 35 y 32 respectivamente (Tabla 1). *C. pentandra* se destacó debido a las dimensiones que alcanza en diámetro, de modo que, con solo tres individuos *C. pentandra* proyectó dominancia relativa de 25%; en comparación con *C. odorata*, que con nueve individuos proyectó dominancia del 12%. En el municipio de Miraflores, las especies con mayor valor IVI fueron *T. gigantea* y *P. americana* con IVI del 44.1 y 42.2 respectivamente, seguida por *C. odorata* con valor de 31.6. En cuanto al municipio de Páez, la especie *C. odorata* presentó el mayor valor de importancia con 104.6; seguida por *C. alliodora* con IVI del 54.4 (Tabla 1).

Se observa que la especie *C. odorata* tuvo una presencia importante en los tres municipios, está especie es ampliamente reportada como forestal acompañante en sistemas agroforestales con cultivos perennes (Sánchez et al.; 2016; Navia et al., 2019; Mercedes & Rangel, 2020; Zequeira et al., 2021), lo cual está relacionado con su potencial comercial como especie maderable, que la convierte en un componente seleccionado por el productor por su valor económico; además, se ha reportado que los agricultores la utilizan con doble propósito, como sombra para el cultivo y como maderable (Villavicencio, 2013; Jadán et al., 2016).

De acuerdo con Ramírez et al. (2013) la intensidad de uso de los ambientes agroforestales de cacao es uno de los aspectos que, generalmente está relacionado negativamente con la biodiversidad. En este estudio, el municipio donde se observó mayor representatividad de *C. odorata*, fue el que presentó menor diversidad de especies; se podría inferir que la tala selectiva de forestales en SAF con cacao, que intensifica la producción de madera, ha favorecido la pérdida de la diversidad. Sin embargo, *C. odorata* es la única especie que se reporta en categoría vulnerable (IUCN, 2022); por lo cual, su integración en sistemas agroforestales representa una alternativa de propagación y conservación; debido a que se podría reducir la presión sobre el aprovechamiento de individuos en bosques naturales, contribuyendo a la mitigación de la deforestación en esa especie (Suber et al., 2019; Bonatti et al., 2021). Por otra parte, también es muy importante considerar que, los estudios de composición florística sirven de base para identificar otras especies forestales potenciales para el establecimiento de SAF, con el fin de promover la diversificación del sistema productivo y contribuir a su resiliencia. De acuerdo con De Sousa et al. (2019) es importante repensar la composición actual de especies

Tabla 1. Abundancia (Ab) e índice de valor de importancia (IVI) para especies forestales acompañantes de sistemas agroforestales con cacao en tres zonas del oriente de Boyacá.

Familia	Especie	Berbeo		Miraflores		Páez		Ab.Total	IVI Regional	Origen, estatus de conservación y uso*		
		Ab	IVI	Ab	IVI	Ab	IVI			Nativa**	Categoría	Uso*
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L.	9	32.6	6	31.6	18	104.6	33	46.5	N	V	S, MA
Acanthaceae	<i>Trichanthera gigantea</i> (Bonpl.) Nees.	7	25.8	10	44.1	2	11.6	19	28.7	N	LC	PT, FR
Lauraceae	<i>Persea americana</i> Mill.			14	42.2	4	24.8	18	27.6	E	LC	F
Rutaceae	<i>Citrus reticulata</i> Blanco.	7	17.4	7	18.3			14	20.3	E	UK	F
Rutaceae	<i>Citrus x aurantium</i> L.	7	20.4	3	12.9	4	33.6	14	20.0	E	UK	F
Boraginaceae	<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Cham.	4	16.6			10	54.4	14	18.0	N	LC	S, MA
Meliaceae	<i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer.	9	28.5	1	6.0			10	14.8	N	LC	MA
Myrtaceae	<i>Campomanesia lineatifolia</i> Ruiz & Pav.	2	5.6	6	19.1			8	14.7	N	LC	F
Fabaceae	<i>Inga spuria</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	3	12.9	4	24.4			7	14.4	N	LC	F, S
Malvaceae	<i>Quararibea cordata</i> (Bonpl.) Vischer.			2	7.5	5	18.5	7	13.7	N	UK	F
Malvaceae	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	3	35.1	2	21.3	1	14.9	6	9.1	N	LC	S, MA
Fabaceae	<i>Albizia carbonaria</i> Britton	2	20.4	3	13.8			5	7.9	N	LC	MA, F
Apocynaceae	<i>Tabernaemontana litoralis</i> Kunth	5	16.8					5	7.4	N	LC	ME
Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i> L.	2	6.7	2	11.4			4	7.0	E	UK	F
Rutaceae	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	1	5.0			3	20.4	4	6.8	N	LC	OR, LÑ
Fabaceae	<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.			3	23.9			3	6.2	N	LC	S, F
Urticaceae	<i>Cecropia telenitida</i> Cuatrec.	1	4.9	2	11.1			3	6.2	N	LC	OR, ME
Fabaceae	<i>Platymiscium pinnatum</i> (Jacq.) Dugand	3	13.1					3	5.9	N	UK	OR, S
Euphorbiaceae	<i>Hevea brasiliensis</i> (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg.	2	6.5					2	4.5	N	LC	IND
Polygonaceae	<i>Triplaris americana</i> L.	1	4.5	1	7.5			2	3.2	N	LC	MA
Rosaceae	<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.			1	5.0			1	2.8	E	UK	F
Myrtaceae	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	1	5.2					1	2.4	E	LC	MA, ME
Malvaceae	<i>Helicarpus americanus</i> L.	1	4.6					1	2.3	N	LC	RE
Moraceae	<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D. Don ex Steud.	1	5.2					1	2.3	N	LC	MA, ME
Sapindaceae	<i>Melicoccus bijugatus</i> Jacq.	1	5.4					1	2.0	N	LC	F
Lauraceae	<i>Nectandra reticulata</i> (Ruiz & Pav.) Mez	1	6.8					1	1.8	N	LC	RE, MA
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i> L.					1	8.6	1	1.8	N	LC	F
Bignoniaceae	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.					1	8.5	1	1.8	N	LC	MA, OR
Total general		73	300	67	300	49	300	189	300			

*Referencia tomada de IUCN Red List of Threatened Species. Nativa=N, Exótica=E, V=Vulnerable, LC=Menos preocupante, UK=Desconocida

**Referencia adaptada de Jiménez y Rangel (2012); Braga et al., (2018). F=frutal, FR=forraje, IND=industrial, LÑ=leña, MA=maderable, ME=medicinal, OR=ornamental, PT=protección de fuentes hídricas, RE=restauración ecológica, S=sombrío.

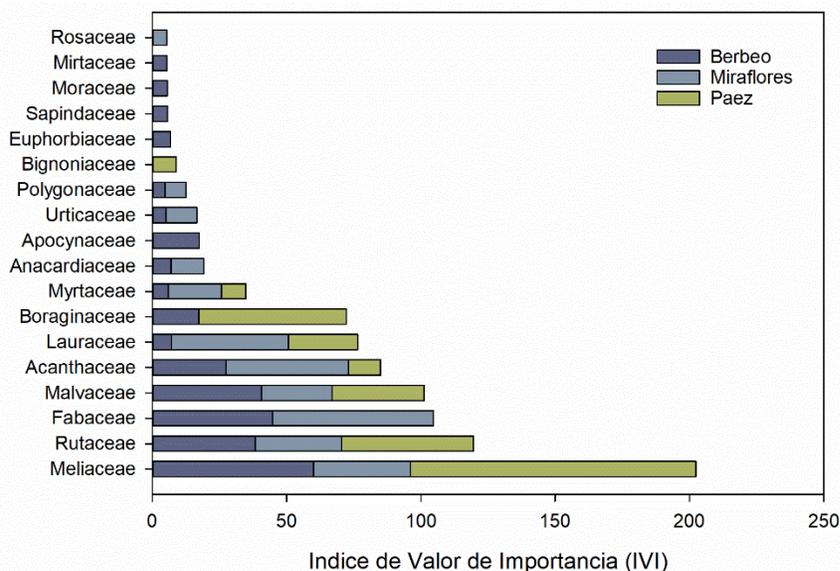


Figura 1. Índice de valor de importancia de las diferentes familias de plantas acompañantes de los sistemas agroforestales con cacao en tres zonas del oriente de Boyacá, Colombia.

agroforestales en los paisajes de cacao, para lo cual se requiere la identificación de las mejores especies de árboles en un contexto de cambio climático.

Por otra parte, en Colombia se ha reportado en muchas zonas cacaoteras, que los productores usan como sombra con el cultivo de cacao, frutales como aguacate (*Persea americana*) y cítricos (*Citrus* spp) (Jaraba *et al.*, 2021). En relación con este reporte, en la presente caracterización se observó que en el municipio de Miraflores la especie *P. americana* ocupó el segundo mayor IVI; mientras que, en el municipio de Páez se destacaron en tercer y cuarto lugar con mayor IVI dos especies frutales: *Citrus x aurantium* y *Persea americana*. Ebratt (2022) en SAF con cacao en los municipios de El Carmen de Bolívar, San Jacinto y San Juan Nepomuceno (Bolívar, Colombia) reportó un IVI de 40,4 para *P. americana*; observación similar al IVI encontrado para *P. americana* en Páez (42,2). Ahora bien, cabe destacar que este tipo de especies manejados como árboles de porte bajo para aprovechamiento de sus frutos, deben ser consideradas solo como especies de asocio, mas no como sombrío, conservando las distancias de siembra óptimas para evitar la competencia con el cultivo de cacao (Jaraba *et al.*, 2021).

En el municipio de Miraflores se destacó la importancia de la especie *Trichanthera gigantea*, que a diferencia de las especies con mayor IVI en otros municipios, es poco común en los reportes de investigación en sistemas agroforestales con cacao. *T.*

gigantea es una especie nativa propia de zonas pantanosas y bosques húmedos, conocida con el nombre común de nacedero, debido a su uso en la protección de fuentes de agua, además mejora las propiedades de suelos erosionados (Rivera, 2001; Barón, 2022). En los SAF con cacao estudiados, *T. gigantea* se encontró sobre las orillas de canales de agua que atraviesan los cultivos, un aspecto importante que destaca la conciencia de algunos cacaocultores por la protección de un recurso tan valioso (Gomez, 2016). Esta especie presenta un potencial importante en la diversificación de fincas cacaoteras, en el marco de desarrollo sostenible; dentro de lo cual, será importante considerar el diseño adecuado y el manejo que requiere, para su establecimiento como especie asociada.

Estructura de la comunidad

Las especies forestales acompañantes se distribuyeron en cuatro estratos diamétricos y tres de altura (Figura 2). El estrato diamétrico uno (≤ 0.3 m) albergó el 8% del total de individuos registrados, representado en su mayoría por especies frutales. El estrato dos (0.4-0.8 m) reportó el 55,03% del total de forestales inventariados, dominado por frutales, maderables y medicinales. En el estrato tres (0.9-1.3 m) se concentró el 24% de los individuos y estuvo dominado por maderables. En el estrato cuatro se agrupó el 13% de especies forestales, con representación de especies maderables y de sombrío.

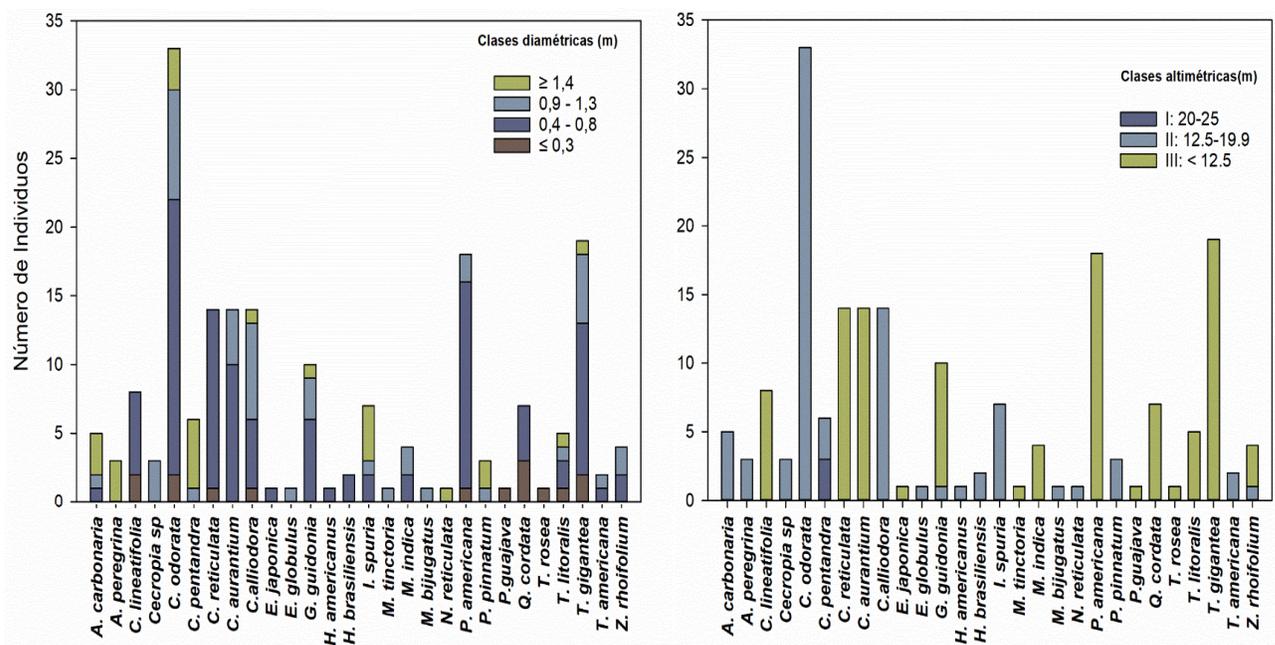


Figura 2. Estructura de la comunidad para especies forestales acompañantes en sistemas agroforestales con cacao en tres zonas del oriente de Boyacá, Colombia.

La especie *C. pentandra* presentó la mayor altura total y DAP (20.3 m y 2.2 m, respectivamente). Cárdenas-L. & Ramírez-A., (2004) en el estudio de plantas útiles y su incorporación a los sistemas productivos del departamento del Guaviare, reportaron a *C. pentandra* como una de las especies maderables más importantes de la zona, en donde también es empleada como sombrío. Sol *et al.* (2018), en la evaluación de productividad potencial de SAF con cacao asociado con árboles forestales, encontraron que *C. pentandra* destacó entre las especies con mayor DAP y altura. Sin embargo, aunque *C. pentandra* destacó por su altura y diámetro en los estratos mayores, no tuvo representación en los estratos menores, por lo cual se podría inferir que no cuenta con estratos sucesionales que proyecten una permanencia de la especie en los sistemas agroforestales de la región. De Souza *et al.* (2019), destacan que especies como *C. pentandra* en SAF con cacao son remanentes de vegetación anterior, lo cual puede estar asociado a su presencia destacada en estratos diamétricos y altimétricos mayores.

Por otra parte, entre las especies con mayor abundancia que estuvieron representadas en los cuatro estratos diamétricos se encontró a *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora* y *Trichanthera gigantea* (Figura 2). La distribución de frecuencia de estas especies por clase diamétrica parece responder en cierto modo al patrón de reclutamiento y manejo del dosel de sombra por parte de los agricultores (Matey *et al.*, 2013); ya que, en el estrato dos que reportó la mayor concentración de individuos, se encuentran las especies que representan un interés comercial para el productor, evidenciando

que procuran mantener una sucesión de estas especies para garantizar su permanencia dentro del sistema productivo.

De acuerdo con Salvador *et al.* (2019), la diversidad de las especies arbóreas en SAF con cacao puede variar de acuerdo al manejo y edad del cultivo; presentándose mayor diversidad arbórea en los cultivos con mayor edad, los cuales incluyen árboles maderables y frutales como sombrío para el cacao. Las observaciones realizadas en las parcelas del presente estudio evidenciaron que la asociación de especies maderables y frutales es común en los sistemas agroforestales de la región, en los cuales destacan especies maderables como *C. odorata*, frutales como *C. reticulata*, *C. aurantium* y *P. americana*. Esto concuerda con lo encontrado por Villanueva *et al.* (2018), quienes reportan que el 38% de los productores entrevistados tenían el cacao en asociación con frutales como naranja (*Citrus* sp) o plátano (*Musa* sp), y el 28% presentaban esta asociación con maderables como cedro (*C. montana*). Por otra parte, Montagnini *et al.* (2015) reportan en cuanto al manejo de SAF, que la diversificación en plantaciones de cacao se puede dar plantando, conservando y manejando especies maderables, mediante dos modelos básicos: árboles plantados y árboles de regeneración natural; dentro de lo cual es importante un manejo diferencial que incluya para las especies maderables una fertilización orgánica al inicio de la plantación, control de malezas y podas de la biomasa aérea (Subia *et al.*, 2017).

Diversidad florística

Los índices de diversidad demuestran que las especies arbóreas presentes en los sistemas agroforestales con cacao han sido seleccionadas por los productores y tienen bajos niveles de diversidad. El Índice de Shannon está por debajo de 3 (Tabla 2), evidenciando que son sitios antropizados en donde el productor escoge las especies que prefiere por aspectos como: su utilidad, su conocimiento de la especie, sus beneficios ambientales, entre otros.

Tabla 2. Comparación de la diversidad en sistemas agroforestales con cacao en tres zonas del oriente de Boyacá*

	Berbeo	Miraflores	Páez
Especies	22	16	10
Individuos	73	67	49
Dominancia_D	0.21b	0.30ab	0.58a
Simpson_1-D	0.79a	0.70ab	0.42b
Shannon_H'	1.75a	1.50a	0.77b

* Medias con una letra común en la misma fila no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Los resultados de diversidad encontrados para SAF en el oriente de Boyacá, principalmente en cuanto a Berbeo y Miraflores ($H' = 1.75$ y 1.50 respectivamente); están acordes con los relacionados en literatura sobre SAF-cacao en zonas tropicales de América. Braga *et al.*, (2018) en estudios de la composición y diversidad de árboles de sombra en el sur de la Amazonia brasileña, reportan de acuerdo con estados sucesionales del sombrero de cacao, Índices de Shannon de 1.35 y 3.18; además recopilan que, en América Central y México, el Índice de Diversidad de Shannon (H') varía entre 0.8-2.99 (Salgado *et al.*, 2007). Mientras que en la amazonia y la Mata Atlántica existen SAF con variación del Índice de Shannon (H') entre 1.37–2.73 (Sambuichi & Haridasan, 2007). Por otro lado, en sistemas agroforestales con cacao en México, en la región de Tabasco, Morán *et al.* (2022) encontraron para los SAF que tienen entre 10-20 años un $H' = 1.94$ y entre 20-30 años $H' = 1.72$. Por su parte, (Jadán *et al.*, 2016) en la evaluación de la diversidad florística y estructura en cacaotales tradicionales en Ecuador, reportaron para SAF índices de Shannon de 1.76; 1.61 y 1.32.

La diversidad para el Municipio de Páez ($H' = 0.77$) fue menor con respecto a los datos de las investigaciones reportadas. En el mismo sentido, Páez presentó el mayor índice de dominancia (0,58), que en relación con el análisis de composición florística (Tabla 1), se debe al predominio de la especie *C. odorata* que con 18 individuos presentó abundancia relativa de 36.7% y dominancia relativa del 42.8%. La importancia de esta especie en la zona se debe a su potencial comercial, por lo cual es seleccionada para permanecer en los sistemas productivos. Chavarría *et al.* (2022) reportan que la estructura y composición arbórea de SAF con cacao se relaciona con la satisfacción de necesidades fundamentales en la ruralidad. Por su parte, Ordóñez *et al.* (2014), destacan que los factores que influyen en la diversidad de árboles pueden ser naturales o antropogénicos, dentro de los cuales juegan un papel fundamental las razones sociales, económicas o culturales para que los productores usen, toleren, establezcan o eliminen árboles.

La vegetación arbórea en sistemas agroforestales con cacao en el oriente de Boyacá mostró diferencias en su composición florística, de acuerdo con la zona de estudio. El índice de Jaccard (J) indicó que la mayor similitud se encontró entre las composiciones arbóreas de Miraflores-Berbeo (0.46), posteriormente Miraflores-Páez (0.30), y finalmente Berbeo-Páez (0.23). Mediante un análisis de correspondencia, se presenta la agrupación de especies en torno a las zonas de estudio, en donde se observan dos grupos: grupo I representado por el Municipio de Páez y grupo II que incluye a Miraflores y Berbeo (Figura 3).

Se observó que alrededor del Municipio de Berbeo, hay mayor correspondencia de las especies *C. pentandra*, y *C. aurantium*, mientras que en Miraflores resalta *T. gigantea*, reconocida en la literatura por su importancia ecológica, debido a que es una especie melífera que atrae entomofauna (abejas) y avifauna (colibríes); además es especialmente útil para la protección de fuentes de agua y la mejora de las propiedades de suelos erosionados (Hernández, 2011). Por su parte, en el Municipio de Páez, se observó una alta correspondencia de *C. odorata*, en concordancia con los resultados de abundancia, dominancia y diversidad; una situación relacionada con la ampliación de la frontera agropecuaria, dentro de la cual se elimina la mayor parte de especies forestales de un ecosistema, afectando su diversidad.

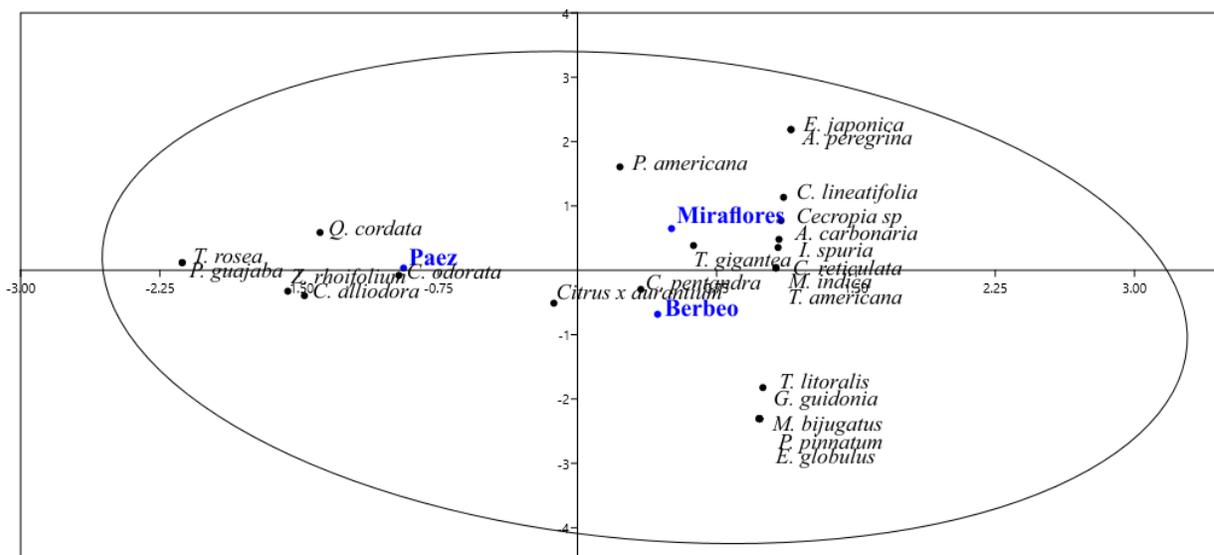


Figura 3. Análisis de correspondencia de las especies y zonas de estudio en sistemas agroforestales con cacao del oriente de Boyacá, Colombia.

CONCLUSIONES

La población en esta región presenta niveles altos de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), sin embargo, Berbeo es el municipio con mayor NBI, así mismo, en este municipio se identificó una mayor diversidad florística y, por lo tanto, un mayor IVI, esto puede obedecer a que en este municipio las actividades económicas no han impactado fuertemente el recurso forestal. Por el contrario, en el caso de Páez, que también presenta un NBI alto, el indicador de diversidad (IVI) es más bajo y esto puede deberse a que los productores han realizado una mayor intervención en los ecosistemas reduciendo la diversidad florística e introduciendo especies que tienen un mayor uso comercial. Por lo tanto, se recomienda profundizar en esta relación de la composición florística de un territorio y los indicadores de pobreza y socioeconómicos.

En sistemas agroforestales de tres municipios del oriente de Boyacá, se encontró mayor IVI de las especies *Cedrela odorata* (46,53), *Trichanthera gigantea* (28,72), *Ceiba pentandra* (27,62), *Citrus x aurantium* (20,25) y *Persea americana* (20,02); especies empleadas por los agricultores como maderables, frutales y para conservación de fuentes hídricas.

Los sistemas agroforestales con cacao en tres municipios del oriente de Boyacá presentaron una composición y diversidad diferencial. Se observó una correlación inversamente proporcional entre la diversidad y la dominancia de especies, marcada por una menor diversidad en el municipio de Páez, donde

la especie *C. odorata* tuvo mayor dominancia, relacionada con la afinidad de los agricultores por especies maderables de interés comercial. En este sentido, los estudios de composición florística sirven de base para identificar otras especies forestales potenciales para el establecimiento de SAF, con el fin de promover la diversificación del sistema productivo y contribuir a su resiliencia y sostenibilidad.

Acknowledgement

To the Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) for providing the infrastructure and support for the development of this research.

Funding. This research was funding by the Sistema General de Regalías (SGR) through the project "Research, development and innovation in special cocoas under agroforestry systems" (BPIN 20013000100255).

Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interests related to this publication.

Compliance whit ethical standards. The authors having not to declare, due the nature of this publication. The producers interviewed authorized the use of the information for research and publication.

Data availability. The data are available with the corresponding author on request.

Author contribution statement (CRediT). **D. Ruiz-Russi-** Conceptualization, Investigation, Writing – original draft. **L. D. Escobar-Pachajoa-**

Conceptualization, Methodology, Investigation, Data curation, Writing – original draft, Writing – review & editing. **F. Montealegre-Bustos-** Methodology, Formal Analysis, Writing – review & editing. **D.A. Galvis-Neira-** Data curation, Formal Analysis, Writing – review & editing. **J.E. Camacho-Díaz-** Writing – review & editing. **Y.Y. Jaimes-Suárez-** Funding acquisition, Methodology, Project administration and supervision. **J. Rojas-Molina-** Conceptualization, Funding acquisition, Methodology, Project administration, Writing – original draft, Formal Analysis, Writing – review & editing and supervision.

REFERENCIAS

- Alvarado, V., 2017. Análisis de correspondencia en la diversidad florística de agroecosistemas cafetaleros en la selva central del Perú. *Bosque Latitud Cero*, 7(November), pp. 8–21. <http://orcid.org/0000-0003-1646-8161>
- Álvarez-Carrillo, F., Rojas-Molina, J. and Suarez-Salazar, J. C., 2012. Simulación de arreglos agroforestales de cacao como una estrategia de diagnóstico y planificación para productores. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 13(2), pp. 145–150. https://doi.org/10.21930/rcta.vol13_num2_art:249
- Alvis, J., 2009. Análisis estructural de un bosque natural localizado en zona rural del municipio de Popayán. *Facultad de Ciencias Agropecuarias. Grupo de Investigación TULL*, 7(1), pp. 115–122.
- Asase, A. and Tetteh, D. A., 2010. The role of complex agroforestry systems in the conservation of forest tree diversity and structure in southeastern Ghana. *Agroforestry Systems*, 79(3), pp. 355–368. <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9311-1>
- Avendaño-Arrazate, C. H., Suárez-Venero, G. M., Mendoza-López, A., Martínez-Bolaños, M., Reyes-Reyes, J. and Espinosa-Zaragoza, S., 2021. Tree composition of cocoa associated species: Lacandon jungle and agroforestry systems, Chiapas, Mexico. *Agronomía Mesoamericana*, 32(2), pp. 365–381. <https://doi.org/10.15517/AM.V32I2.41630>
- Barón, L., 2022. Propuesta para recuperación de nacimientos de agua en la finca las Mercedes, municipio de Pacho Cundinamarca. 75 p. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/51746/lmbarong.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bianco, L. 2020. Principales aspectos de la nodulación y fijación biológica de nitrógeno en Fabáceas. *IDESIA*, 38(2), pp. 21–29. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v38n2/0718-3429-idesia-38-02-21.pdf>
- Bonatti, M., Del Rio, M., Rodriguez, T., Muñoz, H., Eufemia, L., Lohr, K., Vanegas, M., Chará, J., Sieber, S. and Castro-Nunez, A., 2021. Factores clave para el diseño e implementación de sistemas sostenibles de uso de la tierra para la reducción de la deforestación y la construcción de paz en Colombia. Notas para Tomadores de Decisiones Julio 2021. Cali (Colombia): Alliance of Bioersity International and CIAT. 14 p. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10568/114164>
- Braga, D. P. P., Domene, F. and Gandara, F. B., 2018. Shade trees composition and diversity in cacao agroforestry systems of southern Pará, Brazilian Amazon. *Agroforestry Systems*, 93(4), pp. 1409–1421. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0250-6>
- Cárdenas-L, D. and Ramírez-A, J. G., 2004. Plantas útiles y su incorporación a los sistemas productivos del Departamento del Guaviare (Amazonia Colombiana). *Caldasia*, 26(1), pp. 95–110.
- Chavarría, C.A., Villanueva, C.E. and Pérez, K.N., 2022. Análisis de la estructura y diversidad arbórea en sistemas agroforestales de cacao en Jolom-ijix II, Alta Verapaz, Guatemala. *Revista Ingeniería y Ciencia*, 2, pp. 1–12. <http://www.revistasguatemala.usac.edu.gt/index.php/riyc/article/view/1797>
- Contreras, C. A., 2017. Análisis de la cadena de valor del cacao en Colombia: generación de estrategias tecnológicas en operaciones de cosecha y poscosecha, organizativas, de capacidad instalada y de mercado. *Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería*, 221 páginas. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/59141/1/1032373448-2017.pdf>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística-DANE., 2018. Censo Nacional de Población y Vivienda - CNPV 2018. In *Online*.
- Ebratt, D., 2022. Composición florística y estructura de las especies de sombrero en los sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*

- L.) en la subregión de los Montes de María, Bolívar-Colombia. *Intropica*, 17(1). <https://doi.org/10.21676/23897864.4495>
- FAOStat., 2021. *FAOSTAT*. Food and Agriculture Organization. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data%0D>
- Federación Nacional del Cacaoteros-Fedecacao. 2022. *Caracterización de productores de cacao 2017-2021*. <https://www.fedecacao.com.co/documentos-tecnicos>
- Gomez, L. J., 2016. Análisis De Los Modelos Agroforestales, De La Asociación De Cacaoteros Asoacasas Implementados En El Municipio De San José Del Fragua Caquetá. *Laboratorium Penelitian Dan Pengembangan FARMAKA TROPIS Fakultas Farmasi Universitas Mulawarman, Samarinda, Kalimantan Timur, April*, 5–24.
- Erazo, C. Y., Ceballos, A. K. and Matabanchoy, J. M., 2021. Mirada ecológica en la construcción del proyecto de vida de jóvenes rurales. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud*, 20(1), pp. 1–25. <https://doi.org/10.11600/ricsnj.20.1.5255>
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T. and Ryan, P. D., 2001. *PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis*. https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf
- Hernández, M.A., 2011. Principales especies arbóreas y arbustivas usadas en sistemas silvopastoriles de la región del Sumapaz-Colombia. Condiciones agroecológicas, técnicas de propagación y usos en producción ganadera. En: J.C Torrico y O. Cardona, eds. *Ganadería ecológica, Guía para las buenas prácticas ganaderas*. Bolivia: Instituto Agrario Bolivia. págs. 29-57.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC., 2004. *Instituto Geografico Agustin Codazzi*. Datos Abiertos Agrología. Disponible en: <https://www.geoportalligac.gov.co/>
- International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources-IUCN., 2022. *IUCN Red List of threatened species*. Choice Reviews Online. <https://doi.org/10.5860/choice.43-2185>
- Jadán, O., Torres, B., Selesi, D., Peña, D., Rosales, C. and Günter, S., 2016. Diversidad florística y estructura en cacaotales tradicionales y bosque natural (Sumaco, Ecuador). *Colombia Forestal*, 19(2), pp. 129–142. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.2.a01>
- Jagoret, P., Michel, I., Ngnogué, H. T., Lachenaud, P., Snoeck, D. and Malézieux, E., 2017. Structural characteristics determine productivity in complex cocoa agroforestry systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(6). <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0468-0>
- Jaraba, A., Buriticá, A., Vega, F., Urrego, J., Bautista, J., Puerta, J., Yepes, J., Herrán, L., López, M., Ardila, N., Hincapié, O., Hernández, P., Martínez, S. and Gallo, Y., 2021. Modelo productivo para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) sistemas agroforestales sostenibles. Compañía Nacional de Chocolates. Colombia. Disponible en: <https://chocolates.com.co/wp-content/uploads/2021/06/AF-FOLLETO-SAF-PDF-Baja.pdf>
- Jurado, C. and Tobasura, I., 2012. Dilema de la juventud en territorios rurales de Colombia: ¿campo o ciudad?*. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud*, 10(1), pp. 63–77. Disponible en: <http://www.umanizales.edu.co/publicaciones/campos/cinde/index.html#diLemadelaJuventudeRRitoRiosRuRaLesdecoLombia:¿campoociudad?63>
- Kadow, D., Niemenak, N., Rohn, S. and Lieberei, R., 2015. Fermentation-like incubation of cocoa seeds (*Theobroma cacao* L.) - Reconstruction and guidance of the fermentation process. *Lwt*, 62(1), pp. 357–361. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.01.015>
- León-Moreno, C., Rojas-Molina, J. and Castilla-Campos, C., 2019. Physicochemical characteristics of cacao (*Theobroma cacao* L.) soils in Colombia: Are they adequate to improve productivity? *Agronomía Colombiana*, 37(1), pp. 52–62. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v37n1.70545>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-MADR., 2021. *Cadena de valor de Cacao*. Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales. [https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/2021-03-31 Cifras Sectoriales.pdf](https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf)
- Magurran, A. E., 1988. *Ecological Diversity and Its*

- Measurement*. Springer Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-7358-0>
- Manzanilla, E., Mata, M., Treviño, J., Aguirre, A. and Alanís, E., 2020. Diversidad , estructura y composición florística de bosques templados del sur de Nuevo León Diversity , structure and floristic composition of temperate forests of southern Nuevo León state. *Revista Mexicana Ciencias Forestales*, 11(61), <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i61.703>
- Matey, A., Orozco, L., Chavarría, F., López, A. and Dehevels, O., 2013. Botanical composition and structure of cocoa orchards and forest patches in Waslala , Composición florística y estructura de cacaotales y parches de bosque en Waslala , Nicaragua. *Agroforesteria de la Americas*, No. 49, pp. 61–67. <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5930/8.Matey.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mena, V. E., Hernan, A. C. and Torres, J. J., 2020. Composición florística , estructura y diversidad del bosque pluvial tropical de la subcuenca del río Munguidó , Quibdó , Floristic composition , structure and diversity of the tropical pluvial forest of the sub-basin of the Munguidó River , Quibdó, Chocó,. *Entramado*, 16(1), pp. 204–215. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.6109>
- Mercedes Ordoñez, C. and Rangel-Ch, J. O., 2020. 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. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 44(173), pp. 1033–1046. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1183>
- Middendorp, R. S., Vanacker, V. and Lambin, E. F., 2018. Impacts of shaded agroforestry management on carbon sequestration, biodiversity and farmers income in cocoa production landscapes. *Landscape Ecology*, 33(11), pp. 1953–1974. <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0714-0>
- Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H. and Eibl, B., 2015. Sistemas agroforestales funciones: Función De Los Sistemas Agroforestales. In *Sistemas Agroforestales – Funciones productivas, socioeconómica y ambientales*. Serie Técnica, Informe técnico No. 402. Turrialba, CR:CATIE. <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7124/SistemasAgroforestales.pdf?sequence=1#page=276>
- Morán-Villa, V., Monterroso-Rivas, A., Gómez-Díaz, J., Márquez-Berber, S. and Valdes-Velarde, E., 2022. Floristic composition and arrangement of agroforestry systems of cocoa in Tabasco, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25, pp. #067. <https://doi.org/10.56369/tsaes.3840>
- Navia Estrada, J. F., Benavides Benavides, O. and Barraza Álvarez, F. V., 2019. Caracterización De Sistemas Agroforestales Tradicionales En El Pacifico Sur De Colombia, Departamento De Nariño. *Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias -FAGROPEC*, 11(2), pp. 90–101. <https://doi.org/10.47847/fagropec.v11n2a3>
- Nunoo, I. and Owusu, V., 2017. Comparative analysis on financial viability of cocoa agroforestry systems in Ghana. *Environment, Development and Sustainability*, 19(1), pp. 83–98. <https://doi.org/10.1007/s10668-015-9733-z>
- Obiri, B. D., Bright, G. A., McDonald, M. A., Anglaaere, L. C. N. and Cobbina, J., 2007. Financial analysis of shaded cocoa in Ghana. *Agroforestry Systems*, 71(2), pp. 139–149. <https://doi.org/10.1007/s10457-007-9058-5>
- Pretzsch, H. 2009. Forest Dynamics, Growth and Yield. From Measurement to Model. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Alemania. 664 p.
- Ramírez, A., García, E., Obrador, J., Ruiz, O. and Camacho, W., 2013. Diversidad Florística en plantaciones agroforestales en Cárdenas, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 29(3), pp. 215–230. <https://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v29n3/v29n3a1.pdf>
- Rivera, J. H., 2002. Utilización del Nacedero *Trichanthera gigantea* (H. & B.) Nees. para la prevención y recuperación de áreas degradadas por erosión y remociones masales en suelos de ladera Colombiana. Tres Especies Vegetales Promisorias: Nacedero *Trichanthera gigantea* (H. and B.) Nees, Botón de Oro *Thitonia diversifolia* (Hemsl.) Gray y Bore *Alocasia macrorhiza* (Linneo) Schott, 129-144. Disponible en: http://www.oocities.org/biotropico_andino/cap9.pdf

- Roa-Romero, H. A., Salgado-Mora, M. G. and Alvarez-Herrera, J., 2009. Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Soconusco, Chiapas - México. *Acta Biológica Colombiana*, 14(3), pp. 97–110. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v14n3/v14n3a7.pdf>
- Rojas, J., Calderon, P. F. R., Zabala, M. A. C., Moreno, A. P., Valenzuela, Y. V. and Pachajoa, L. E., 2021. Structure and floristic composition of forests associated to *Theobroma* species in the Colombian Amazon. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(68), pp. 128–150. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i68.1078>
- Saj, S., Durot, C., Mvondo Sakouma, K., Tayo Gamo, K. and Avana-Tientcheu, M. L., 2017. Contribution of associated trees to long-term species conservation, carbon storage and sustainability: a functional analysis of tree communities in cacao plantations of Central Cameroon. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 15(3), pp. 282–302. <https://doi.org/10.1080/14735903.2017.1311764>
- Salgado-Mora, M., Ibarra-Núñez, G., Macías-Sámano, J. and López-Báez, O., 2007. Diversidad arbórea en cacaotales del Soconusco, Chiapas, México. *Interciencia*, 32(11), pp. 763–768. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33901107.pdf>
- Salvador-Morales, P., Cámara-Cabrales, L. del C., Martínez-Sánchez, J. L., Sánchez-Hernandez, R. and Valdés-Velarde, E., 2019. Diversity, structure and carbon of the arboreal vegetation on cocoa agroforestry systems. *Madera y Bosques*, 25(1), pp. 1–14. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511638>
- Sambuichi, R. H. R. and Haridasan, M., 2007. Recovery of species richness and conservation of native Atlantic forest trees in the cacao plantations of southern Bahia in Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 16(13), pp. 3681–3701. <https://doi.org/10.1007/s10531-006-9017-x>
- Sánchez, F., Pérez, J., Obrador, J., Sol, A. and Ruiz, O., 2016. Estructura arbórea del sistema agroforestal cacao en Cárdenas, Tabasco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14, pp. 2711–2723.
- Sistema Municipal de Áreas Protegidas-SIMAP., 2015. *Sistema Municipal de Áreas Protegidas (SIMAP) Convenio CNV 2015 143 entre Corpoboyacá-Zetaquirá-Miraflores SIMAP-ZETAQUIRA / SIMAP-MIRAFLORES, Sistema municipal de áreas protegidas*. www.altamontanaandina.org
- Sol-Sanchez, A., López-juárez, S. and Gallardo-López, F., 2018. Productividad potencial del SAF cacao asociado con árboles forestales SAF cocoa productivity potential associated with forest trees. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 4(7), pp. 862–875. <http://doi.org/10.5377/ribcc.4i7.6327>
- Solarte, J., Ballesteros, W. and Calvache, D., 2023. Análisis florístico de sistemas agroforestales tradicionales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Nariño. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 14(1), pp. 11–29.
- Somarriba, E., Cerda, R., Orozco, L., Cifuentes, M., Dávila, H., Espin, T., Mavisoy, H., Ávila, G., Alvarado, E., Poveda, V., Astorga, C., Say, E. and Deheuvels, O., 2013. Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 173(October 2017), pp. 46–57. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.04.013>
- Suárez-Venero, G. M., Avendaño-Arrazate, C. H., Ruíz-Cruz, P. A. and Estrada-de los Santos, P., 2019. Tree diversity and stored carbon in cocoa (*Theobroma cacao* L.) agroforestry systems in Soconusco, Chiapas, Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 25(3), pp. 315–332. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2018.12.093>
- Suber, M., Yepes, A. P., Bohorquez, V. and Robiglio, V., 2019. Los árboles fuera del bosque en la NAMA forestal de Colombia. Elementos conceptuales para su contabilización. Working paper No 292. Lima, Peru. ICRAF XX pages. Disponible en: www.worldagroforestry.org
- Subía, C., Caicedo, C., Calderón, D., Tinoco, L., Pico, J., Vargas, Y., Fernández, Y., Paredes, N., Vera, A., Díaz, A., Bastidas, S., Sotomayor, D., Lima, L., Intriago, J., Congo, C. and Sánchez, M., 2017. Establecimiento de un ensayo en sistemas agroforestales de cacao con diferentes niveles de manejo en la

- Amazonía ecuatoriana. 2017 International Symposium on Cocoa Research (ISCR), November, 6.
- Amazonas y San Martín. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas - UNTRM.
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria-UPRA., 2022. *Evaluaciones Agropecuarias por consenso Departamento de Boyacá | Datos Abiertos Colombia*. Datos Abiertos de Colombia.
<https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Evaluaciones-Agropecuarias-por-consenso-DEPARTAMEN/u958-pr9h/data>
- Vaast, P. and Somarriba, E., 2014. Trade-offs between crop intensification and ecosystem services: the role of agroforestry in cocoa cultivation. *Agroforestry Systems*, 88(6), pp. 947–956.
<https://doi.org/10.1007/s10457-014-9762-x>
- Villanueva, S. Z., Spencer, A. and Chira, D., 2018. Caracterización y valoración económica en sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao*) en los Departamentos de
- Villavicencio, L., 2013. Caracterización agroforestal en sistemas de café tradicional y rústico en San Miguel, Veracruz, México. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 19(1), pp. 67–80.
<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.08.051>
- Zapata, P., 2019. Composition and structure of shade canopy in coffee agroforestry systems of three municipalities of Cundinamarca, Colombia. *Ciencia Florestal*, 29(2), pp. 685–697.
<https://doi.org/10.5902/1980509827037>
- Zequeira, C., Santiago, D., MacGregor, I. and Castillo, O., 2021. Tree diversity and composition in Mexican traditional smallholder cocoa agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 95(8), pp. 1589–1602.
<https://doi.org/10.1007/s10457-021-00673-z>