

Árboles dispersos en fincas del oriente cundinamarqués y su aporte a la conectividad del paisaje*

Scattered trees in farms in eastern Cundinamarca and their contribution to the connectivity of the landscape

GARCÍA-VARGAS, RAÚL-GONZALO¹; DÍAZ-SANTAMARÍA, WILLIAM-RICARDO²; FORERO-VARGAS, CAMILO³

RESUMEN

Historial del artículo

Recibido para evaluación: 29 de octubre 2021

Aprobado para publicación: 16 de Noviembre 2022

* Proyecto de investigación de origen: "Caracterización de la cobertura arbórea y su aporte a la conectividad estructural del paisaje en predios agropecuarios establecidos a lo largo del corredor vial Bogotá - Villavicencio". Financiación: Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD y Fundación Natura (2016-2020). Finalización: diciembre 30 de 2020.

- 1 Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente, Grupo de Investigación: Grupo Interdisciplinario de Estudios Sectoriales (GIES). Magister en Gestión Ambiental. Ingeniero Forestal. Bogotá, Colombia. <https://orcid.org/0000-0003-2341-1956>
- 2 Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente, Grupo de Investigación CIDAGRO. Magister en Medio Ambiente y Desarrollo. Ingeniero Forestal. Bogotá, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-6973-3398>
- 3 Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente, Grupo de Investigación Grupo Interdisciplinario de Estudios Sectoriales (GIES). Magister en Administración de Empresas. Ingeniero Agrónomo. Bogotá, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-8344-6248>

Correspondencia: william.diaz@unad.edu.co

Cómo citar este artículo

GARCÍA-VARGAS, RAÚL-GONZALO; DÍAZ-SANTAMARÍA, WILLIAM-RICARDO; FORERO-VARGAS, CAMILO. Árboles dispersos en fincas del oriente cundinamarqués y su aporte a la conectividad del paisaje. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, v. 21, n. 2, 2023, p. 99-114. Doi: <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n2.2023.2047>

El diseño, implementación y manejo de sistemas agropecuarios productivos que contemplen la incorporación del componente arbóreo como un eje estratégico para salvaguardar la diversidad ecosistémica en las regiones, es vital cuando se quiere preservar la biodiversidad local y recuperar la conectividad ecológica de fragmentos boscosos en las cuencas hidrográficas. La heterogeneidad del paisaje, la diversidad de cultivos en los sistemas productivos agrícolas y el análisis de los árboles dispersos en predios rurales productivos, son parte de los aspectos constitutivos para el estudio de la conectividad a escala local y regional logrando determinar los cambios en las coberturas vegetales, la provisión de material genético e incluso, establecer puntos locales para acciones de restauración de ecosistemas. Esta investigación evaluó las coberturas del suelo de 32 fincas ubicadas en los municipios de Chipaque, Cáqueza, Quetame y Guayabetal, en el oriente de Cundinamarca y analizó los indicadores de conectividad generados por los árboles remanentes con el fin de establecer indicadores que permitan en el futuro optimizar los procesos de reforestación. Se seleccionaron 8 predios por cada uno de los municipios. La información fue recolectada directamente en campo a partir de mediciones de áreas, coberturas e inventarios florísticos predio a predio. Para facilitar el análisis de la información se utilizó el software fragstats versión 4.2.1. El estudio muestra que, en algunos casos, las coberturas más abundantes corresponden a pastos, pero que en otros casos existen parches importantes de bosque que pueden ser considerados para orientar más eficientemente los procesos de reforestación a futuro.

ABSTRACT

The design, implementation and management of productive agricultural systems that include the incorporation of the tree component as a strategic axis to safeguard ecosystem diversity in the regions is vital when preserving local biodiversity and recovering the ecological connectivity of forest fragments in watersheds. The heterogeneity of the landscape, the diversity of crops in productive agricultural systems and the analysis of dispersed trees in productive rural properties are part of the constituent aspects for the study of connectivity at local and regional scales, determining changes in vegetation cover, the provision of genetic material and even establishing local points for ecosystem restoration actions. This research evaluated the land covers of 32 farms located in the municipalities of Chipaque, Cáqueza, Quetame and Guayabetal, in the east of Cundinamarca and analyzed the connectivity indicators generated by the remaining trees in order to establish indicators that will allow optimizing reforestation processes in the future. Eight properties were selected for each of the municipalities. The information was collected directly in the field based on measurements of areas, cover and floristic inventories on a property-by-property basis. Fragstats software version 4.2.1 was used to facilitate the analysis of the information. The study shows that, in some cases, the most abundant cover corresponds to pastures,

PALABRAS CLAVE:

Fragmentación; Coberturas del suelo; Ecología del paisaje; Conectividad ecológica; Árboles remanentes; Árboles aislados; Biodiversidad; Parches; Inventario; Conservación; Agroforestería.

KEYWORDS:

Fragmentation; Land cover; Landscape ecology; Ecological connectivity; Remnant trees; Isolated trees; Biodiversity; Patchiness; Inventories; Conservation; Agroforestry

but in other cases there are important patches of forest that can be considered to guide future reforestation processes more efficiently.

INTRODUCCIÓN

La conectividad es un concepto muy importante de la ecología del paisaje y tiene relación con los flujos y movimientos de materia (Moyano *et al.*, 2022), energía e información a través del paisaje y la forma como estos flujos están condicionados por su estructura. Su estudio ha sido clave para la realización de proyectos y planificación de escenarios y ecosistemas estratégicos (Leija and Mendoza, 2021). La transformación del paisaje, ocasionada por la implementación de sistemas productivos apartados de la potencialidad del territorio y sin una debida planificación desde escalas locales y regionales, trae como consecuencia la desaparición de hábitats naturales y la generación de fragmentos de pequeñas dimensiones a causa de la desordenada y progresiva ocupación del territorio; por ello, los fragmentos boscosos o arbóreos deben conservarse para garantizar la capacidad de almacenamiento de biomasa y su funcionalidad ecológica en cuanto a mitigación del cambio climático (Alrutz *et al.*, 2022).

El análisis del paisaje ha cobrado gran interés a nivel latinoamericano, por cuanto ofrece herramientas para su correcta planificación. Su estudio puede enfocarse desde diferentes ópticas, entre ellas, los niveles naturales, geosistémicos (Espinosa *et al.*, 2022) y socioculturales. Los cambios en el uso y cobertura del suelo han sido identificados como un factor importante que contribuye a dar forma a la estructura del paisaje y los patrones de biodiversidad (Laurindo *et al.*, 2020), particularmente en áreas con una larga historia de ocupación humana y fragmentación del hábitat. Es precisamente en ese análisis de la transformación del paisaje que se posibilita la incorporación de herramientas de planeación para lograr la conservación ecosistémica y la restauración ecológica en espacios de importancia ambiental (Rodríguez-Echeverry and Leiton, 2021).

Cada vez más, aspectos de la heterogeneidad del paisaje son considerados en la medición de la conectividad, como sucede con la diversidad de los cultivos en los paisajes agrícolas (Guerra-Martínez *et al.*, 2021), así como los pastos con árboles dispersos que han sido considerados como ecosistemas modificados por el hombre (Siqueira *et al.*, 2017). Para el paisaje, los árboles dispersos tienen funciones ecológicas que incluyen, entre otros, aporte de hojarasca en suelos con pastizales (Avendaño-Yañez *et al.*, 2020), aumento de la cubierta forestal, aumento de la conectividad para los animales, que favorecen la riqueza y diversidad en sistemas productivos (Cortes-Sosa *et al.*, 2021), mayor conectividad genética de las poblaciones de árboles, la provisión de material genético y de puntos focales para la futura restauración de los ecosistemas a gran escala; así mismo, en los paisajes alterados, los árboles dispersos con frecuencia son legados biológicos que proporcionan continuidad ecológica a través del tiempo (Hernández-Dávila *et al.*, 2020) y en muchos casos, cumplen funciones ecosistémicas relevantes en sistemas productivos agropecuarios, destacándose en los paisajes ganaderos (Rojas *et al.*, 2021).

En la región andina, la fragmentación ecosistémica es atribuida a la deforestación y a la conformación de parcelas o unidades productivas, pero sin articulación ecológica principalmente (Calderón and Benavides, 2022). Como muestra de ello, los municipios de la provincia de oriente de Cundinamarca (Chipaque, Cáqueza, Quetame y Guayabetal), se caracterizan por su alta dependencia de las actividades agropecuarias, donde el 99,8 % del suelo está catalogado como rural (Katz, 2017); no obstante, es evidente la fragmentación del paisaje que se ve reflejado a su vez en el hecho que el 53,93 % de los predios que se encuentran en la región tienen áreas menores a 1 hectárea y el 33,84 % tienen áreas que oscilan entre 1 y 5 hectáreas. De igual manera, la presencia de las actividades productivas agropecuarias, incluso de la misma construcción del corredor vial Bogotá-Villavicencio, ha generado la pérdida de la capa boscosa original y, por consiguiente, de la biodiversidad y la conectividad del paisaje.

La Fundación Natura ha realizado proyectos de reforestación con campesinos con el fin de mejorar el paisaje, la biodiversidad y la conectividad en la región. En esta región, aún se conservan árboles dispersos en medio de diferentes sistemas agropecuarios, que de una u otra forma contribuyen con la conectividad del paisaje; pero, no se sabe aún cuáles son los tipos de cobertura del suelo ni las especies de árboles que determinan el nivel de conectividad actual. Este proyecto contempló como objetivos los siguientes: (a) determinar los tipos de cobertura del suelo incluyendo las copas de los árboles como objeto de estudio; (b) realizar un inventario de los árboles dispersos en el área de estudio y (c) determinar indicadores de conectividad asociados a la presencia de los árboles dispersos en la zona de estudio.

MÉTODO

Área de estudio

El estudio se realizó en 32 fincas de los municipios de Chipaque, Cáqueza, Quetame y Guayabetal (8 fincas en cada municipio). Estos municipios tienen como característica común su participación territorial en lo que se conoce como el corredor vial Bogotá–Villavicencio. Según datos extraídos del Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial (SIGOT), los cuatro municipios cuentan con más del 50 % de su territorio con cobertura de pastos, llegando hasta el 72,3 y 76,8 % para los municipios de Cáqueza y Chipaque, respectivamente. La actividad agrícola no supera en ningún caso el 20 % del territorio, siendo el municipio de Chipaque el de mayor extensión con territorio dedicado a esta actividad con el 17,33 %, por su parte, la cobertura en bosques para los municipios de Guayabetal es 42,8 % y Quetame es 33,6 % siendo los municipios con la mayor área en este tipo de cobertura (Cuadro 1).

Cuadro 1. Coberturas agrícola, pecuaria y forestal en relación con la extensión total del municipio.

Municipio	Área total (km ²)	Área en pastos (pecuaria) (%)	Área en cultivos (agrícola) (%)	Área en bosques (forestal) (%)
Cáqueza	106	15,62	72,33	9,26
Chipaque	130	17,33	76,84	3,18
Quetame	138	6,35	58,55	33,66
Guayabetal	212	3,47	52,63	42,86

Fuente: Elaboración propia con base en datos extraídos del SIGOT, 2015.

Las condiciones climáticas (Cuadro 2) son diversas en el área de estudio, pues se trata de una transición de clima frío desde el municipio de Chipaque a clima cálido en el municipio de Guayabetal.

Cuadro 2. Condiciones climáticas del área de estudio.

Municipio	Temperatura media (°C)	Precipitación media (mm)	Rango altitudinal de las fincas (msnm)
Chipaque	14,1	1.083	2.551 - 2.912
Cáqueza	19,5	1.831	1.523 - 2.411
Quetame	20,9	2.650	1.408 - 2.129
Guayabetal	22,2	4.582	1.045 - 1.888

Fuente. Elaboración propia a partir de información obtenida de CLIMATE-DATA.ORG

Las 32 fincas seleccionadas para la realización del presente estudio, señaladas en el Cuadro 3, debían cumplir con las siguientes características:

- Presencia de sistemas productivos agropecuarios establecidos (sistemas agrícolas, pecuarios o agroforestales).
- El área de la unidad productiva no debía superar las 10 hectáreas (solo se exceptuó la finca “Las Angustias” del municipio de Chipaque).
- Presencia de árboles dispersos, aislados o árboles agrupados de DAP igual o superior a 10 cm, localizados al interior del área productiva.
- El propietario debía estar interesado en participar en el estudio y permitir el acceso para la realización del inventario forestal.
- Fincas cuya ubicación fuese estratégica para el propósito de la Fundación Natura de contribuir con el mejoramiento de la conectividad estructural de ecosistemas a lo largo del corredor vial Bogotá–Villavicencio.

Cuadro 3. Fincas que hicieron parte del estudio.

Municipio	No	Nombre	Vereda	Área (m2)
Chipaque	1	Alto del Ramo	Alto del Ramo	25.216,611
	2	San Martín	Alto del Ramo	7.843,490
	3	El Vergel	Fruticas	19.407,730
	4	Cristo Rey	Caldera	85.158,467
	5	San José	La Palma	116.858,460
	6	Las Angustias	Alto del Ramo	602.725,456
	7	San Pedro	El Ramo	11.555,378
	8	Quebrada Blanca	Cerezos Pequeños	5.973,819
Cáqueza	1	La Lagunita	Palo Grande	28.730,384
	2	La Veguita	Palo Grande	68.028,409
	3	La Esperanza	Monruta	59.026,156
	4	La Olla	Ganco	28.930,552
	5	El Lote	Olla de Santiago	3.246,024
	6	Compartir	Monruta	1.3087,01
	7	Pantano de Carlos	Pantano de Carlos	44.668,490
	8	Villa Isabel	Ganco	25.216,611
Quetame	1	La Ermita	Guacapate	16.788,278
	2	El Mango	Trapichito	18.340,673
	3	La Fortuna	Ficalito	21.267,771
	4	La Maravilla	Ficalito	16.135,008
	5	El Naranjo	Chilcal Bajo	36.775,843
	6	Los Arrayanes	Yerbabuena	13.034,289
	7	La Lagunita	Guamal Alto	32.457,978
	8	Salinas	Guamal Alto	18.835,269
Guayabetal	1	La Carolina	Primavera	39.200,341
	2	La Esperanza	Chipaque	14.921,475
	3	El Descanso	Chipaque	12.806,163
	4	Pacarí	Chipaque	35.943,428
	5	La Primavera	Jabonera	11.236,209
	6	El Caimo	Las Mesas	14.335,898
	7	El Abuelo	Chipaque	36.168,671
	8	Villa Ester	Chipaque	13.428,420

Determinación de coberturas del suelo

Se realizó la identificación de las coberturas del suelo presentes en las 32 fincas mediante la caracterización in situ (observación directa) y se digitalizó la información empleando un GPS Garmin eTrex Touch 25 con el que se crearon los polígonos respectivos. Las coberturas vegetales fueron clasificadas dentro de las siguientes categorías: pastos enmalezados (PE), pastos limpios (PL), herbazal denso (HD), cultivos permanentes arbustivos (CPA), cultivos transitorios (CT), bosque abierto (BA), bosque ripario (BR) y arbustal abierto (AA). Las coberturas artificiales se clasificaron dentro de las categorías carretable (CR), camino (CM), vivienda (VD), infraestructura agropecuaria (IFA) y cuerpos de agua artificiales (CAR).

Inventario de árboles dispersos

En cada una de las 32 fincas pertenecientes a los municipios de Chipaque, Cáqueza, Quetame y Guayabetal, mencionadas anteriormente, se realizó un inventario al 100 % de los árboles presentes en cada predio con diámetro a la altura del pecho (DAP) igual o superior a 10 cm. Las variables dasométricas medidas fueron las siguientes: diámetro a la altura del pecho – DAP (1,3 m de la base), altura del fuste, altura total, radios mayor y menor de la copa, área de la copa. Cada árbol fue georreferenciado empleando un GPS.

Determinación de indicadores de conectividad

A partir de una capa raster para cada finca y mediante el software fragstats versión 4.2.1, se cuantificaron las características del paisaje para cada finca tomando como cobertura de estudio la correspondiente a las copas de los árboles (CA). Los índices calculados corresponden a algunos de los propuestos por (McGarigal, 2015) y se enfocaron en caracterizar cada clase de parche y el mosaico de parches como un todo. Los índices calculados se presentan en el Cuadro 4 y corresponden principalmente a aquellos índices que permiten realizar análisis teniendo en cuenta que se trata de fincas con áreas diferentes.

Cuadro 4. Índices de conectividad calculados.

Métrica	Fórmula/descripción
SHDI Índice de diversidad de Shannon	$SHDI = -\sum_{i=1}^m (P_i * \ln P_i)$ <p>P_i = proporción del paisaje ocupado por tipo de parche (clase) i. Clase i = copas de árboles</p>
SHEI Índice de uniformidad de Shannon	$SHEI = \frac{-\sum_{i=1}^m (P_i * \ln P_i)}{\ln m}$ <p>P_i = proporción del paisaje ocupado por tipo de parche (clase) i. m = número de tipos de parches (clases) presentes en el paisaje, excluyendo el borde del paisaje si está presente. Clase i = copas de árboles</p>
CONTAG Índice de Adyacencia	$CONTAG = \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[P_i * \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right] * \left[\ln \left(P_i * \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right]}{\ln(m)} \right] (100)$ <p>P_i = proporción del paisaje ocupado por tipo de parche (clase) i. g_{ik} = número de adyacencias (uniones) entre píxeles de tipos de parches (clases) i y k según el método de doble conteo. m = número de tipos de parches (clases) presentes en el paisaje. Clase i = copas de árboles</p>

Fuente. Adaptado de Fragstats help. McGarigal, K., 2015.

En la Figura 1 se presenta un ejemplo del proceso metodológico para la obtención de la capa raster que fue procesada mediante el software fragstats 4.2.1.

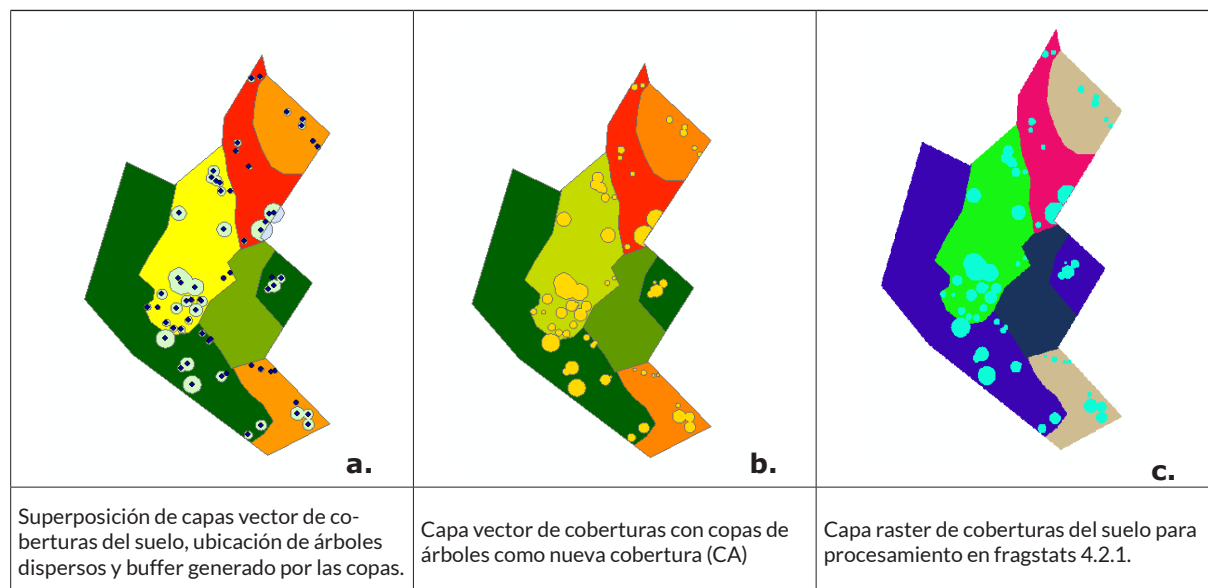


Figura 1. Resumen de proceso metodológico para obtener capa raster con copas de árboles como nueva cobertura.

RESULTADOS

Coberturas del suelo

En el Cuadro 5 se presentan los resultados sobre tipos de coberturas identificadas en las diferentes fincas correspondientes a los cuatro municipios objeto de estudio.

Cuadro 5. Coberturas del suelo identificadas en los municipios

Cobertura	Área Total (m ²) Chipaque	Área Total (m ²) Cáqueza	Área Total (m ²) Quetame	Área Total (m ²) Guayabeta
PE	543.355,5	178.520,3	45.613,4	106.542,4
HD	3.896,1	14.521,7	7.258,6	0
PL	0	20.443,4	1029	12.041,1
CPA	1.927,5	4.403,5	44.836,2	17.601,1
CT	14.382,2	19.002,5	37.909,5	14.481,2
BA	244.065,9	0	4.782,3	0
BR	49.962,4	0	4.988,4	1.327,3
AA	0	4.966,4	11.478,7	10.278,7
CA	21.918,3	20.625,1	13.974,1	10.747,7
CR	6.235,3	2.839,9	309,1	2.355,7
CM	39,4	1.944,3	180,7	90,5
VD	975,8	1.781,7	804,6	1.095,5
IFA	115,4	1.607,1	54,2	1.479,3
CAR	0	277,6	0	0
Área (m ²)	886.873,8	270.933,5	173.218,8	178.040,5

En el municipio de Chipaque, la cobertura más representativa fue la de PE, encontrándose en las ocho fincas con el 61,2 % del área total estudiada, seguida por BA con 27,5 %, mientras que la cobertura CA presentó una extensión de 2,4 % del área total.

Para el municipio de Cáqueza, se encontró un gran dominio de la cobertura PE con relación a las demás coberturas. La cobertura PE contó con el 65,8 % del área total y con presencia en siete de las 8 fincas, en tanto que las coberturas CA, PL y CT cuentan con 7,6, 7,5 y 7,0 % del área total, respectivamente.

Con relación a las coberturas vegetales del municipio de Quetame y el porcentaje que representa del área total, se encontró que la cobertura con mayor extensión correspondió a PE con 26,3 % del área total; a diferencia de las fincas correspondientes a Chipaque y Cáqueza, en Quetame hay otras dos coberturas con extensión considerable, CPA y CT, con 25,8 y 21,8 % del área total, seguidas de PE y CA con una extensión de 8 % del área total.

Por último, para las ocho fincas del municipio de Guayabetal, se encontró nuevamente la cobertura PE como la de mayor extensión con relación al área total de las fincas con el 59,8 %, seguida por CPA con 9,8 % y CT con 8,1 %.

Inventario de árboles dispersos

Con relación a los árboles dispersos identificados en las 32 fincas que hicieron parte del estudio y que corresponden con el tipo de cobertura del suelo identificado como CA, se encontraron en total 3344 individuos de 59 especies distribuidas en 35 familias, como se presenta en el Cuadro 6:

Cuadro 6. Distribución de árboles dispersos encontrados en las 32 fincas que hicieron parte del estudio.

Municipio	No fincas	Área Total (ha)	Área Agropecuaria (ha)	Individuos	No. familias	No. especies	Área Copas (m ²)	Ind/ha Agropec
Chipaque	8	88,69	56,356	1.143	35	59	27.596	20,3
Cáqueza	8	27,09	24,185	1.031	35	64	25.801	42,6
Quetame	8	17,32	14,812	601	27	47	17.899	40,6
Guayabetal	8	17,80	16,094	569	29	52	13.010	35,3

Se encontró que el 67,79 % (2.267 individuos arbóreos) corresponden a especies forestales nativas, mientras que el restante 32,21 % (1.077 individuos arbóreos) pertenecen a especies forestales exóticas que han sido plantadas con fines particulares en las fincas (principalmente para el suministro de productos maderables para la misma finca (Díaz Santamaría *et al.*, 2022).

Frente a la abundancia de individuos, se encuentra que la especie *Eucalyptus globulus*, presenta un mayor número de árboles (417), representando el 12,47 %, seguido de la especie *Myrcianthes rhopaloides*, con 258 individuos (7,72 %) y, en tercer lugar, la especie *Fraxinus chinensis*, representada por 189 individuos arbóreos (5,65 %) (Díaz Santamaría *et al.*, 2022). En el cuadro 7, se presentan las principales especies inventariadas, discriminadas en especies exóticas y nativas y, su porcentaje de abundancia.

Cuadro 7. Principales especies vegetales inventariadas.

Especie	Procedencia	Abundancia (%)
<i>Eucalyptus globulus</i>	Exótica	12,47
<i>Myrcianthes rhopaloides</i>	Nativa	7,72
<i>Fraxinus chinensis</i>	Exótica	5,65
<i>Calycolpus moritzianus</i>	Nativa	4,49
<i>Tibouchina lepidota</i>	Nativa	4,34
<i>Cupressus lusitanica</i>	Exótica	4,31
<i>Weinmannia sp.</i>	Nativa	3,95
<i>Cinnamomum triplinerve</i>	Nativa	3,83
<i>Psidium guajava</i>	Nativa	3,59
<i>Inga semialata</i>	Nativa	2,81

Las principales familias botánicas identificadas corresponden a *Myrtaceae*, *Oleaceae*, *Melastomataceae*, *Lauraceae*, *Leguminosae*, *Cupressaceae*, *Cunoniaceae* y *Compositae*, que representan el 67,19 % de los individuos vegetales (2.247 individuos) encontrados en las 32 fincas inventariadas. En el Cuadro 8 se señalan las principales familias botánicas en cada uno de los municipios; siendo la familia *Myrtaceae* es la más representativa con cerca 33,88 % de los individuos arbóreos inventariados (1.133)

Cuadro 8. Principales familias botánicas encontradas.

Municipio	Familias	Número de especies por familia
Chipaque	Compositae, Myrtaceae	5
	Lauraceae, Melastomataceae, Primulaceae, Solanaceae	3
Cáqueza	Myrtaceae, Leguminosae	7
	Bignoniaceae	4
Quetame	Myrtaceae	7
	Leguminosae	4
Guayabetal	Myrtaceae	7
	Melastomataceae, Rutaceae	4

El estudio contempló el análisis del Índice de valor de importancia de las especies arbóreas para cada uno de los municipios, obteniendo un IVI alto para las especies nativas, tal como se presenta en el cuadro 9.

Es de señalar que en el municipio de Chipaque, la especie *Eucalyptus globulus* obtuvo el IVI más alto, con un 35,5 %, por su parte, la especie *Fraxinus chinensis*, obtuvo valores altos de IVI en los municipios de Cáqueza y Quetame, con un 29,9 y 27,5 % respectivamente.

Indicadores de paisaje para los tipos de cobertura identificados

Los indicadores de paisaje calculados en la zona de estudio fueron: índice de diversidad de Shannon (SHDI), índice de uniformidad de Shannon (SHEI) e índice de contagio (CONTAG). En la Cuadro 10 se presentan los resultados de estos indicadores para las ocho fincas correspondientes a cada municipio.

Cuadro 9. Índice de valor de importancia para especies nativas.

Municipio	Especie	IVI %
Chipaque	<i>Abatia parviflora</i>	34,6
	<i>Piper bogotense</i>	21,4
	<i>Alnus acuminata</i>	19,5
Cáqueza	<i>Myrcianthes rhopaloides</i>	30,2
	<i>Ficus americana</i>	25,5
	<i>Psidium guajava</i>	23,0
	<i>Trichanthera gigantea</i>	22,1
Quetame	<i>Inga semialata</i>	35,1
	<i>Cinnamomum triplinerve</i>	29,7
	<i>Myrcianthes rhopaloides</i>	28,1
	<i>Vismia baccifera</i>	23,2
Guayabetal	<i>Cinnamomum triplinerve</i>	36,5
	<i>Calycolpus moritzianus</i>	30,0
	<i>Psidium guajava</i>	28,1
	<i>Ficus americana</i>	21,7

Fuente: Díaz Santamaría *et al.* (2022).

Cuadro 10. Indicadores de paisaje para los tipos de cobertura identificados en el área de estudio.

Municipio	Indicador	Valor obtenido
Chipaque	SHDI	0,757
	SHEI	0,491
	CONTAG	73,091
Cáqueza	SHDI	1,077
	SHEI	0,581
	CONTAG	67,847
Quetame	SHDI	1,112
	SHEI	0,671
	CONTAG	63,686
Guayabetal	SHDI	1,010
	SHEI	0,574
	CONTAG	68,685

Fuente. Elaboración propia a partir de datos generados por el software Fragstats.

En cuanto a la riqueza del tipo de parches y a la distribución proporcional del área entre los diferentes tipos de cobertura, el municipio de Quetame presenta el mejor indicador con un SHDI de 1,112, en contraste con las fincas del municipio de Chipaque que obtuvieron un SHDI de 0,757.

En Quetame, las coberturas PE (26,33 %), CPA (25 %), CT (21,87) y CA (8,07) presentan una distribución más equitativa de su extensión, mientras que en el municipio de Chipaque las coberturas PE (61,26 %), BA (27,52 %), se llevan la mayor participación porcentual en el paisaje. Algo similar sugiere el indicador SHEI obtenido para las fincas del municipio de Quetame (0,671) siendo el que más se acerca a 1, e indicando mayor uniformidad en la distribución de los tipos de cobertura del suelo, mientras que el valor que más se acerca a cero correspondió a las fincas del municipio de Chipaque (0,491), resultando el de menor uniformidad.

Con relación al indicador CONTAG se encontró que el mayor valor correspondió a las fincas pertenecientes al municipio de Chipaque (73,09 %) lo cual se explica por la dominancia en las fincas de 4 tipos de cobertura (PE, BA, BR, CA) que ocupan el 96 % del paisaje, mientras que el valor más bajo fue para Quetame (63,69 %) donde el 96 % del territorio lo ocupan 7 tipos de coberturas (PE, HD, CPA, CT, AA, CA, BA). Este indicador también da indicios de mejores condiciones de diversidad en cuanto a tipos de cobertura del suelo para el municipio de Quetame.

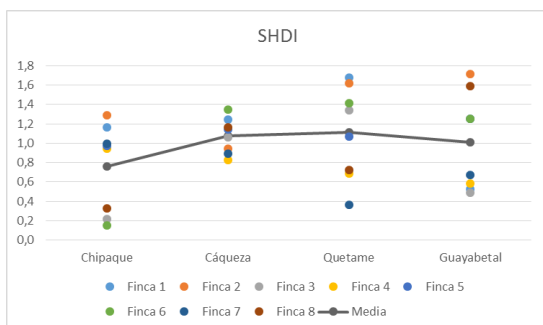


Figura 2. Indicador SHDI

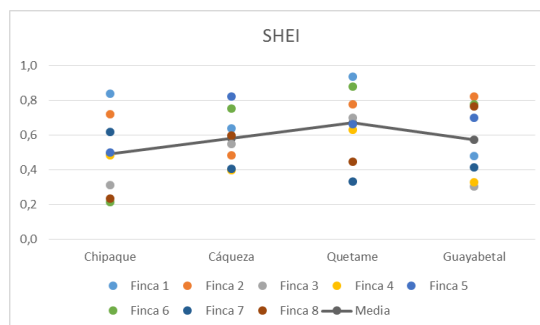


Figura 3. Indicador SHEI

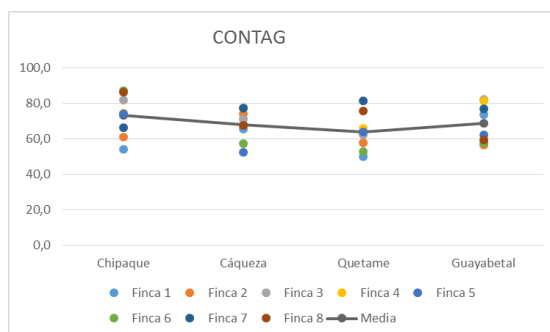


Figura 4. Indicador CONTAG

Con respecto a las coberturas del suelo en los municipios de Chipaque, Cáqueza, Quetame y Guayabetal, para el año 2015 el Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial de Colombia (SIGOT) reportaba para los municipios objeto de este estudio, coberturas de pastos entre el 3 y 18 %, mientras que el área agrícola se encontraba entre 52 y 73% aproximadamente, sin embargo, los datos de coberturas del suelo obtenidos para las 32 fincas que hicieron parte del presente estudio, arrojaron cifras mayores para la cobertura pastos con valores de 61, 73, 27 y 66 % respectivamente; con relación a la cobertura cultivos, donde los resultados fueron de 1,8, 8,6, 47 y 18 %, respectivamente. Lo anterior, se convierte en una oportunidad para realizar un nuevo estudio y saber si esta tendencia es generalizada en toda la región.

En el estudio realizado en Monteverde (Costa Rica), también relacionado con árboles dispersos en medio de paisajes agropecuarios, se encontró que para 237 ha de pastos habían 5.583 árboles de 190 especies, lo que arrojó una densidad media de 25 árboles/ha (Harvey and Haber, 1998). Esta cifra resultó mayor que la obtenida para las fincas del municipio de Chipaque con 20,3 árboles/ha; sin embargo, las cifras obtenidas para los otros tres municipios resultaron considerablemente mayores con 35,3 árboles/ha para Guayabetal, 40,6 árboles/ha para Quetame y 42,6 árboles/ha para Cáqueza. De acuerdo con lo anterior, resulta conveniente implementar acciones que mejoren la densidad de árboles en el municipio de Chipaque si se tiene en cuenta que estos árboles dispersos son importantes para procesos de conservación tal como se menciona en el mismo estudio en Monteverde, Costa Rica.

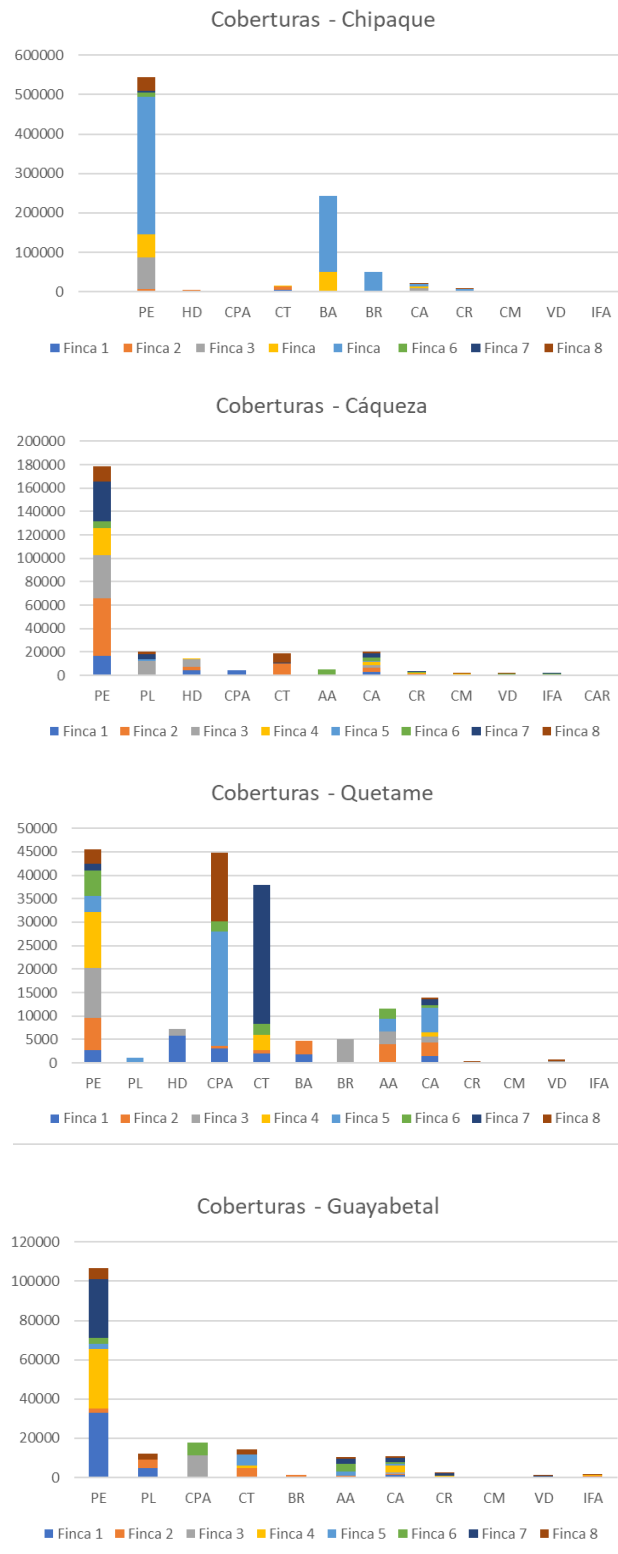


Figura 5. Coberturas de uso de suelo identificadas en las fincas de cada municipio

En un estudio realizado en Brasil, se concluyó que los árboles dispersos cumplen con importantes funciones ecológicas como el cambio del microclima en los pastos, atracción de dispersores de semillas y mejoramiento de la regeneración, sin embargo, para su eficacia como núcleos de regeneración, estos árboles deben estar cerca de parches forestales donde se encuentran fuentes de semillas y dispersores, por lo que mantener y utilizar árboles dispersos para la restauración del paisaje solo tiene sentido cuando se asocia a parches de bosque y esta estrategia sólo sería efectiva para distancias cortas entre parche y parche (Siqueira *et al.*, 2017). De otra parte, teniendo presente las diversas funciones que cumplen los árboles en sistemas ganaderos, se considera de gran importancia un mayor aporte investigativo frente a las especies arbóreas y su papel dentro de la finca, como unidad productiva (Pérez *et al.*, 2021). De acuerdo con lo anterior, el municipio de Cáqueza presenta las mejores condiciones para la implementación de procesos de restauración en sus fincas por cuanto obtuvo el menor valor para ENN, lo que facilitaría la implementación de procesos que busquen el mejoramiento de la conectividad del paisaje, en comparación con el ENN obtenido para Quetame donde se obtuvo el mayor valor, lo que implica mayores esfuerzos para mejorar la conectividad entre copas de árboles.

La gestión integrada del paisaje involucra criterios de conservación y los árboles dispersos pueden ser empleados como una herramienta útil de gestión del paisaje que puede cumplir con este propósito, para lo cual es importante establecer reservas de bloques consolidados de árboles remanentes, y de ello la agroforestería es un buen ejemplo (Dzib-Castillo *et al.*, 2021), así mismo, en esta gestión del paisaje se deben considerar las cualidades y debilidades del territorio evaluado, contemplando sus condiciones biofísicas y socio-productivas (Valdés *et al.*, 2020). Si se tiene en cuenta que el municipio de Quetame presentó los mejores indicadores con relación al paisaje (SHDI, SHEI, CONTAG) y que esto se debe a la presencia de múltiples coberturas como BA, AA, CA y CPA, donde predominan especies arbóreas o especies agrícolas arbustivas (CPA), las cifras obtenidas permiten considerar, en concordancia con los autores citados anteriormente, que los árboles dispersos y los bloques de árboles remanentes en el municipio de Quetame son una herramienta útil en la implementación de procesos de conservación para la región.

En la región de central de Veracruz (México) se encontró que los árboles dispersos, la vegetación secundaria y las franjas ribereñas en campos agropecuarios, son relevantes para la conservación del ecosistema de niebla (Hernández-Dávila *et al.*, 2020). Teniendo en cuenta que la cobertura de pastos (PE y PL) en las fincas pertenecientes a los municipios de Chipaque y Guayabetal superan el 50 % del territorio y que sus indicadores de paisaje fueron los menos favorables, es indispensable la reorientación de la gestión del paisaje para estas zonas hacia la implementación de sistemas productivos agropecuarios que involucren el árbol como elemento fundamental. En el caso específico de los sistemas silvopastoriles, el adecuado manejo de los árboles puede generar un mejor equilibrio entre la humedad relativa, temperatura y la conformación de microclimas y por ende una mejor adaptación al impacto ocasionado por el cambio climático (Saucedo *et al.*, 2021). Para este propósito, se coincide con los autores anteriores en que los sistemas silvopastoriles y agroforestales pueden contribuir con el mejoramiento de la conectividad.

En Australia, los árboles dispersos en paisajes agrícolas generalmente son eliminados por maquinaria de cultivo y riego y las estrategias para compensar su desmonte se enfocan en establecer nuevos árboles en parches de bosque existentes, y no en establecer nuevos árboles dispersos en otros lugares (Harvey and Haber, 1998). Esta es una situación poco probable para las fincas de Cáqueza, Quetame y Guayabetal, por cuanto se trata de minifundios que no superan las 2,5 ha y cuyas actividades agropecuarias no son tecnificadas, o al menos no hacen uso de la maquinaria agrícola que se usa en monocultivos, y en donde existen tipos de cobertura como BA, AA, CA y CPA que son compatibles con procesos de conservación y restauración. Las fincas del municipio de Chipaque, por su parte, cuentan con una extensión promedio de 11 ha y actividades ganaderas que pueden poner en riesgo la permanencia de los árboles dispersos en el mediano plazo; aunque es de resaltar que muchas zonas rurales se exponen a transformaciones y fragmentaciones de bosques a causa del establecimiento e implementación de sistemas productivos agropecuarios no sostenibles (León-Alfaro, 2019).

CONCLUSIONES

Teniendo en consideración los porcentajes de coberturas boscosas en los municipios objeto del presente estudio, se posibilita la implementación de procesos de mejoramiento de la conectividad estructural y funcional del paisaje a partir de los relictos de bosque.

Los árboles dispersos y aislados corresponden a un elemento fundamental en la implementación de sistemas productivos agropecuarios, de allí que debe promoverse su uso para garantizar los procesos de conectividad ecológica y de mejoramiento de los servicios ambientales.

Los sistemas agroforestales bajo sombra propenden por la conservación de la agrobiodiversidad local y regional, además de propiciar espacios adecuados como corredores biológicos, tal como se evidenció en varias de las fincas evaluadas en el presente estudio.

El empleo de especies forestales de carácter exótico ha generado cierto desarraigo y desconocimiento de los usos de las especies nativas (aun cuando estas son más abundantes), dejando a entrever la necesidad de nuevas investigaciones sobre la implementación de sistemas productivos agropecuarios y agroforestales, con especies vegetales arbóreas nativas de la diversidad local y regional.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación contó con la financiación y apoyo de la Fundación Natura. Expresamos nuestro agradecimiento a las personas que hicieron parte del equipo técnico del proyecto Corredor Ecológico Vial Bogotá-Villavicencio, en especial a Nicolás Felipe Duran Jiménez (Q.E.P.D.), a los beneficiarios del proyecto vial y a los docentes y estudiantes de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia que hicieron posible este estudio.

REFERENCIAS

- ALRUTZ, MARTINA; GÓMEZ-DÍAZ, JORGE-ANTONIO; SCHNEIDEWIND, ULF; KRÖMER, THORSTEN; KREFT, HOLGER. Forest structural parameters and aboveground biomass in old-growth and secondary forests along an elevational gradient in Mexico. *Botanical Sciences*, v. 100, n. 1, 2022, p. 67-85.
<https://doi.org/10.17129/botsci.2855>
- AVENDAÑO-YÁÑEZ, MA. DE LA LUZ; QUIROZ-MARTÍNEZ, SALOME; PÉREZ-ELIZALDE, SERGIO; LÓPEZ-ORTIZ, SILVIA. Litterfall from tropical dry forest trees scattered in pastures. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, v. 26, n. 3, 2020, p. 409-418.
<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2019.12.092>
- CALDERÓN-CARO, JENNIFER;; BENAVIDES, ANA-MARÍA. Deforestación y fragmentación en las áreas más biodiversas de la Cordillera Occidental de Antioquia (Colombia). *Biota colombiana*, v. 23, n. 1, 2022, p. 1-15.
<https://doi.org/10.21068/2539200x.942>
- CORTES-SOSA, DIANA M.; LEVY-TACHER, SAMUEL I.; RAMÍREZ-MARCIAL, NEPTALÍ; NAVARRETE-GUTIÉRREZ, DARÍO A.; RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ, PERLA-VICTORIA. Diversidad y estructura de franjas de árboles en una matriz agrícola (tolchés) en relación con la intensidad de uso forestal en Yaxcabá, Yucatán. *Botanical Sciences*, v. 99, n. 3, 2021, p. 525-541.
<https://doi.org/10.17129/botsci.2717>

- DÍAZ-SANTAMARÍA, W.R.; GARCÍA-VARGAS, R.G.; FORERO-VARGAS, C. Cobertura vegetal en árboles dispersos ubicados en predios agropecuarios del corredor vial Bogotá – Villavicencio. Documentos de Trabajo ECAPMA, v. 6, 2022, p. 6–18.
- DZIB-CASTILLO, B.B.; VAN DER WAL, H.; CERVANTES-GUTIÉRREZ, V.; CETZAL-IX, W.; CHANATÁSIG-VACA, C.I.; CASANOVA-LUGO, F. Diversidad arbórea nativa: base para el diseño de sistemas agroforestales en una comunidad maya en la península de Yucatán, México. *Polibotánica*, n. 51, 2021, p. 73-89.
<https://doi.org/10.18387/polibotanica.51.5>
- ESPINOSA-PÉREZ, IAN-DASSAEF; GARCÍA-ROMERO, ARTURO; CRUZ-FUENTES, LUIS-FERNANDO. Propuesta de componentes diferenciadores para la clasificación multiescalar del paisaje. *Investigaciones geográficas*, n. 107, 2022, e60539.
<https://doi.org/10.14350/rig.60539>
- GUERRA-MARTÍNEZ, FRANCISCO; GARCÍA-ROMERO, ARTURO; MARTÍNEZ-MORALES, MIGUEL-ÁNGEL; LÓPEZ-GARCÍA, JOSÉ. Resiliencia ecológica del bosque tropical seco: recuperación de su estructura, composición y diversidad en Tehuantepec, Oaxaca. *Revista mexicana de biodiversidad*, n. 92, 2021, e923422.
<https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3422>
- HARVEY, C.A.; HABER, W.A. Remnant trees and the conservation of biodiversity in Costa Rican pastures. *Agroforestry Systems*, v. 44, n. 1, 1998, p. 37–68.
<https://doi.org/10.1023/A:1006122211692>
- HERNÁNDEZ-DÁVILA, OMAR; LABORDE, JAVIER; SOSA, VINICIO J.; GALLARDO-HERNÁNDEZ, CLAUDIA; DÍAZ-CASTELAZO, CECILIA. Forested riparian belts as reservoirs of plant species in fragmented landscapes of tropical mountain cloud forest. *Botanical Sciences*, v. 98, n. 2, 2020, p. 288-304.
<https://doi.org/10.17129/botsci.2497>
- KATZ, D. Provincia de Oriente de Cundinamarca: Laboratorio de desarrollo para el campo. 2017. <https://agronegocios.uniandes.edu.co/2017/02/22/provincia-de-oriente-de-cundinamarca-laboratorio-de-desarrollo-para-el-campo/>. [consultado agosto 1 de 2021].
- LAURINDO, RAFAEL S.; SOUZA, RENAN-DE FRANÇA; LEMOS, GUILHERME; SILVA-TEODORO, NAIM-DA; MARIN-BONILHA, LEONARDO; OLIVEIRA, FABIANA-LUCIO DE. Feeding habits define habitat use by bats in an agricultural landscape of the Atlantic Forest. *Revista mexicana de biodiversidad*, n. 91, 2020, e913233.
<https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.3223>
- LEIJA, EDGAR G.; MENDOZA, MANUEL E. Estudios de conectividad del paisaje en América Latina: retos de investigación. *Madera y bosques*, v. 27, n. 1, 2021, e2712032.
<https://doi.org/10.21829/myb.2021.2712032>
- LEÓN-ALFARO, YAZMÍN. Análisis de fragmentación y conectividad del bosque en la subcuenca del río Tapezco, Costa Rica: conectando el bosque para proteger el agua. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, v. 28, n. 1, 2019, p. 102-120.
<https://doi.org/10.15446/rcdg.v28n1.67969>
- MCGARIGAL. Fragstats help. 2015. <https://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/documents/fragstats.help.4.2.pdf> [consultado febrero 3 de 2015].
- MOYANO-MOLANO, ANGIE-LORENA; RUSINQUE-QUINTERO, LINDA-LINNEY; MONTOYA-ROJAS, GRACE-ANDREA. Análisis de la conectividad ecológica de las áreas protegidas a través del paisaje del departamento de Caquetá, Colombia. *Revista cartográfica*, n. 104, 2022, p. 37-61.
<https://doi.org/10.35424/rcarto.i104.980>
- PÉREZ-ALMARIO, N.; MEDINA-RIOS, LIZETH E.; MORA-DELGADO, J.; CRIOLLO-CRUZ, D.; MEJÍA, ROBERTO. Criterios de uso y conservación de árboles en potreros basados en el conocimiento local de los ganaderos en una zona de bosque seco tropical en Colombia. (Spanish). *Tropical Grasslands / Forrajes Tropicales*, v. 9, n. 3, 2021, p. 321–336.
[https://doi.org/10.17138/TGFT\(9\)321-336](https://doi.org/10.17138/TGFT(9)321-336)

- RODRÍGUEZ-ECHEVERRY, JAMES; LEITON, MARGARETH. Pérdida y fragmentación de ecosistemas boscosos nativos y su influencia en la diversidad de hábitats en el hotspot Andes tropicales. *Revista mexicana de biodiversidad*, n. 92, 2021, e923449.
<https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3449>
- ROJAS, J.A.A.; ORTIZ, D.F.L.; LOPEZ, A.R.C.; ROJAS, M.R.; ERAZO, E.B. Caracterización y diversidad de árboles dispersos en pasturas de un paisaje de bosque seco tropical en el Caribe Colombiano. *Livestock Research for Rural Development*, n. 33, 2021.
<https://agriperfiles.agri-d.net/display/n24874> [consultado septiembre 20 de 2021].
- SAUCEDO, J.; OLIVA, M.; MAICELO, J.L.; QUISPE, H.; MELÉNDEZ, J.B. Arreglos silvopastoriles con especie arbórea *Alnus acuminata* (aliso) y su efecto sobre los factores ambientales de sistemas ganaderos. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, v. 46, n. 3, 2020, p. 323-328.
- SIGOT-COLOMBIA. Sistema de información geográfica para la planeación y el ordenamiento territorial. 2018. <http://sigotn.igac.gov.co> [consultado septiembre 15 de 2018].
- SIQUEIRA, F.F.; CALASANS, L.V.; FURTADO, R.Q.; MATILLA, V.; CARNEIRO, C.; BERG, E. VAN DEN. How scattered trees matter for biodiversity conservation in active pastures. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 250, 2017, p. 12-19.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.08.002>
- VALDÉS-CARRERA, ALEJANDRO-CÉSAR; HERNÁNDEZ-GUERRERO, JUAN-ALFREDO; CARBAJAL-MONROY, JULIO-CÉSAR. Optimización del uso del paisaje físico-geográfico en las zonas funcionales de la microcuenca Potrero de la Palmita, Nayarit, México. *Revista cartográfica*, n. 101, 2020, p. 9-34.
<https://doi.org/10.35424/rcarto.i101.727>