

## DINÁMICA ENTRE ESPECIES NATIVAS E INTRODUCIDAS EN AGROECOSISTEMAS DE SAN PABLO DE BORBUR: DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES PARA LA SILVICULTURA TROPICAL

### DYNAMICS BETWEEN NATIVE AND INTRODUCED SPECIES IN AGROECOSYSTEMS OF SAN PABLO DE BORBUR: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES FOR TROPICAL FORESTRY

Yamit Gregorio García-Carvajal<sup>1</sup>  
Deisy Katherine Fernández García<sup>2</sup>

#### Resumen

La evaluación de la biodiversidad arbórea en 12 predios agropecuarios de San Pablo de Borbur, Colombia, empleó un método de muestreo estratificado, revelando una rica composición florística. Se identificaron 31 especies arbóreas pertenecientes a 31 géneros y 21 familias, con Fabaceae, Moraceae y Euforbiaceae como las más representativas. La aplicación de índices de biodiversidad, incluyendo abundancia, riqueza específica, Margalef, Shannon-Wiener y Simpson, proporcionó una visión integral de la diversidad. Un análisis de agrupamiento distinguió tres grupos de fincas con características similares. *Cedrela odorata* e *Inga spectabilis* destacaron por su predominancia en volumen aprovechable, observándose una variabilidad significativa entre predios, con Las Cajitas presentando el mayor volumen de *C. odorata* (0,201 m<sup>3</sup>). La presencia de especies introducidas como *Pinus patula* y *Eucalyptus globulus*, coexistiendo con especies nativas, añade complejidad al sistema agroforestal. Estos hallazgos aportan información valiosa sobre la estructura y composición de la vegetación arbórea en la región, enfatizando la importancia de equilibrar productividad y conservación en las estrategias de manejo forestal. Los resultados subrayan la necesidad de un enfoque que promueva la diversificación de especies, la conservación de nativas y la optimización de prácticas silviculturales para mejorar la sostenibilidad y resiliencia de estos sistemas agroforestales. Además, se observó que la coexistencia de especies nativas e introducidas plantea desafíos y oportunidades para el manejo sostenible. Las especies exóticas, aunque productivas, podrían impactar la biodiversidad local y los servicios ecosistémicos. Por otro lado, la combinación estratégica de especies nativas e introducidas podría ofrecer un balance entre objetivos económicos y ecológicos, sugiriendo la importancia de un manejo adaptativo que considere las condiciones locales y los objetivos de conservación a largo plazo.

**Palabras clave:** Silvicultura tropical, Indicadores biodiversidad; Riqueza específica, San Pablo de Borbur, Margalef, Shannon-Wiener, Simpson.

#### Abstract

The evaluation of tree biodiversity in 12 agricultural properties in San Pablo de Borbur, Colombia, used a stratified sampling method, revealing a rich floristic composition. Thirty-one tree species belonging to 31 genera and 21 families were identified, with Fabaceae, Moraceae and

Recepción: 10 de Septiembre de 2021/ Evaluación: 10 de Octubre de 2021/ Aprobado: 15 de Noviembre de 2021

<sup>1</sup> Ingeniero Agrónomo. Magister en Ciencias Agrarias, Docente Ocasional. Universidad de Pamplona, Pamplona, Norte de Santander, Colombia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6171-837X> Email: [yamit.garcia@unipamplona.edu.co](mailto:yamit.garcia@unipamplona.edu.co)

<sup>2</sup> Ingeniero Agrónomo, Docente Ocasional. Universidad de Pamplona, Pamplona, Norte de Santander, Colombia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7564-2452>, Email: [deisy.fernandez@unipamplona.edu.co](mailto:deisy.fernandez@unipamplona.edu.co)

Euphorbiaceae as the most representative. The application of biodiversity indices, including abundance, specific richness, Margalef, Shannon-Wiener and Simpson, provided a comprehensive view of diversity. A clustering analysis distinguished three groups of farms with similar characteristics. *Cedrela odorata* and *Inga spectabilis* stood out for their predominance in harvestable volume, with significant variability between farms, with Las Cajitas having the largest volume of *C. odorata* (0.201 m<sup>3</sup>). The presence of introduced species such as *Pinus patula* and *Eucalyptus globulus*, coexisting with native species, adds complexity to the agroforestry system. These findings provide valuable information on the structure and composition of tree vegetation in the region, emphasizing the importance of balancing productivity and conservation in forest management strategies. The results underscore the need for an approach that promotes species diversification, conservation of native species, and optimization of silvicultural practices to improve the sustainability and resilience of these agroforestry systems. In addition, it was noted that the coexistence of native and introduced species poses challenges and opportunities for sustainable management. Exotic species, although productive, could impact local biodiversity and ecosystem services. On the other hand, the strategic combination of native and introduced species could provide a balance between economic and ecological objectives, suggesting the importance of adaptive management that considers local conditions and long-term conservation objectives.

**Keywords:** Tropical forestry, Biodiversity indicators; Specific richness, San Pablo de Borbur, Margalef, Shannon-Wiener, Simpson.

### Introducción

El departamento de Boyacá, con sus 23.189 km<sup>2</sup> de extensión, se erige como un mosaico de biodiversidad en el centro oriente de Colombia. Su geografía privilegiada abarca una amplia gama de ecosistemas, zonas agroecológicas y variaciones climáticas, lo que lo convierte en un tesoro de diversidad biológica y agrícola. Estratégicamente situado, Boyacá colinda con departamentos clave como Santander, Norte de Santander, Arauca, Casanare, Cundinamarca, Caldas y Antioquia. Esta ubicación favorable, junto con su proximidad a centros neurálgicos de distribución, comercio y consumo, ha cimentado su reputación como el segundo gran proveedor alimentario de la nación, según lo estipulado en el Plan de Desarrollo Departamental 2020-2023 (Gobernación de Boyacá, 2020).

El tercer Censo Nacional Agropecuario arroja luz sobre la distribución territorial de Boyacá. De sus 2.277.677 hectáreas totales, una fracción significativa (618.532 ha) está cubierta por bosques naturales, preservando así la riqueza ecológica de la región. Además, 82.367 ha se destinan a actividades no agrícolas, mientras que la mayor parte (1.576.778 ha) se dedica a la producción agropecuaria. Este último segmento se subdivide en 307.793 ha para cultivos, 1.619 ha ocupadas por infraestructura agrícola, 881.388 ha de praderas y 351.472 ha de vegetación en regeneración (DANE, 2016).

La economía del sector agropecuario de Boyacá se articula en torno a 15 cadenas productivas fundamentales, abarcando desde la producción láctea y el cultivo de papa hasta la apicultura y la industria del fique. No obstante, este sector vital requiere un impulso significativo para alcanzar su pleno potencial. Si bien se han implementado iniciativas loables, como la adopción de prácticas agrícolas sostenibles y la provisión de asesoramiento técnico para optimizar el uso de recursos, persisten desafíos estructurales que demandan atención urgente (FAO & ADR, 2019).

Entre las problemáticas más acuciantes identificadas por los estudios sectoriales, destaca la excesiva fragmentación de la propiedad rural. La predominancia de minifundios y microfundios, junto con la escasez de activos productivos, actúa como un freno al desarrollo, limitando la capacidad

de producción y obstaculizando la modernización tecnológica del agro boyacense. Estas condiciones representan un obstáculo significativo para la industrialización y la mejora de los procesos productivos en el sector agropecuario (FAO & ADR, 2019).

En este panorama departamental, el municipio de San Pablo de Borbur emerge como un microcosmos representativo de la diversidad boyacense. Ubicado en la provincia occidental del departamento, a 146 km de la capital Tunja, este municipio abarca 165 km<sup>2</sup> y se subdivide en 24 veredas. Su posición geográfica lo sitúa en una encrucijada estratégica, compartiendo fronteras con Otanche y Pauna al norte, Muzo al sur, Pauna y Maripí al este, y nuevamente Otanche al oeste (Alcaldía Municipal de San Pablo de Borbur, 2020).

La riqueza florística de San Pablo de Borbur es un reflejo de su ubicación en la transición entre el Bosque muy húmedo premontano y el Bosque húmedo Tropical. Esta zona alberga una notable variedad de especies maderables, entre las que se cuentan el cedro, el guayacán y la guadua. Asimismo, especies como mata ratón y aliso desempeñan un papel crucial en la conservación del ecosistema local. La biodiversidad se extiende también a las plantas medicinales y aromáticas, con especies como el sauco y la altamisa formando parte integral del acervo etnobotánico de la región (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2022).

El sector agrícola de San Pablo de Borbur se caracteriza por su diversidad, abarcando desde cultivos frutales como cítricos, mango y guanábana, hasta productos comerciales de gran importancia como el cacao, el café y el plátano. Esta variedad no solo contribuye a la economía local, sino que también refleja la adaptabilidad agrícola de la región a diferentes microclimas y condiciones edáficas. Según Jaimes Suárez et al. (2022), el cultivo de cacao en particular ha cobrado relevancia en el departamento de Boyacá, incluyendo municipios como San Pablo de Borbur. Los autores destacan que la implementación de modelos productivos adecuados para el cacao puede mejorar significativamente la sostenibilidad económica y ambiental de las fincas locales, fortaleciendo la resiliencia de los sistemas agrícolas frente a los desafíos climáticos y de mercado.

El propósito central de esta investigación es realizar un análisis de la flora presente en los remanentes de bosque andino ubicados en doce fincas destinadas a la producción agropecuaria en San Pablo de Borbur, Boyacá. El estudio se enfoca en tres aspectos fundamentales: determinar la composición taxonómica y la organización estructural de las especies arbóreas; cuantificar la ocurrencia y densidad poblacional de los especímenes identificados; y evaluar la integridad ecológica de los hábitats en las áreas boscosas seleccionadas para el estudio.

## **Metodología**

### **Ubicación y muestra**

El estudio de campo se llevó a cabo empleando un método de muestreo estratificado. Se establecieron parcelas de 10x10 m<sup>2</sup> para el estudio de fustales (árboles maduros) y subparcelas de 1x1 m<sup>2</sup> para brinzales (plántulas y árboles jóvenes), estas últimas replicadas cuatro veces de manera aleatoria dentro del área de estudio. Esta metodología fue seleccionada con el objetivo de maximizar la representación de especies en un área relativamente pequeña, siguiendo las recomendaciones de Matteucci y Colma (1982) para estudios de vegetación en ecosistemas tropicales.

Las áreas de estudio fueron identificadas y georreferenciadas utilizando un sistema de posicionamiento global (GPS), considerando la accesibilidad y el tipo de cobertura vegetal. Para las especies arbóreas y arbustivas, se registraron las siguientes variables dentro de las parcelas de 10x10 m<sup>2</sup>: Perímetro a la altura del pecho (PAP), Altura total, Número de individuos y Nombre común.

### **Georreferenciación y Diseño de Muestreo**

Se estableció un punto de referencia geográfico para cada parcela, a partir del cual se trazó un eje de 10 m<sup>2</sup> para fustales y latizales. Este método asegura la replicabilidad del estudio y permite futuras comparaciones temporales (Figura 2).

La Tabla 1, presenta la georreferenciación detallada de los predios estudiados en el municipio de San Pablo de Borbur, incluyendo información sobre los productores, veredas, nombres de los predios, y altitud.

**Tabla 1.** Predios de Estudio de San Pablo de Borbur

N°	Productor	Vereda	Predio	Altura (m.s.n.m)
1	José Vicente Ramos Rincón	San Pedro	Iriflores 1	1,222
2	Ilvia Milena Bernal Santamaria	San Pedro	Las Cajitas	1,276
3	Idia Peñuela Virhuez	San Pedro	Diamante	1,309
4	Luz Marina Sierra	San Pedro	Iriflores 2	1,219
5	Alkin Saul Rojas Santana	El Triunfo	El Porvenir	1,269
6	Ilían David Poveda Delgadillo	El Centro	Iriflores	1,339
7	Luis Alfonso Castillo Olmos	La Mesa	El Miachi	1,346
8	Wilfran Yesid Cuellar Salinas	San Rafael	San Mateo	803
9	Jorge Eduardo Forero	El Centro	Edecuesta	693
10	Lidia Angela Peña Carrillo	San Pedro	El Diamante	870
11	Llanca Leticia Pedraza Caicedo	San Juanes	La Mata de Limón	1,182
12	Yeny Yulieth Gonzales Torres	El Centro	El Placer	1,069

Fuente: Autores

## Recolección de Datos

### Datos Cualitativos y Cuantitativos

Se registraron los siguientes parámetros para cada individuo dentro de las parcelas:

En el proceso de recolección de datos para la investigación en ingeniería agronómica, se aplicaron tanto métodos cualitativos como cuantitativos para caracterizar cada uno de los individuos presentes en las parcelas estudiadas. Los datos obtenidos son esenciales para evaluar la estructura y composición de la vegetación, así como para determinar patrones ecológicos y de uso potencial de las especies.

En primera medida, se registró la ubicación precisa de cada parcela utilizando un dispositivo GPS, lo cual garantizó la replicabilidad del estudio y permitió asociar las características ambientales del sitio con las especies presentes. En cada parcela, se documentó el nombre común de cada especie, ya que este identifica de manera práctica a las plantas según el conocimiento local, al tiempo que brinda información sobre su uso potencial en la región.

Para medir el tamaño de los árboles y arbustos, se tomó el perímetro a la altura del pecho (PAP), utilizando una cinta métrica, una medida estándar en estudios forestales. Posteriormente, el diámetro a la altura del pecho (DAP) fue calculado a partir del PAP empleando la fórmula:

$$DAP = \frac{PAP}{\pi}$$

Esta fórmula permitió convertir una medición de perímetro en una estimación más útil del tamaño del árbol para análisis de biomasa y crecimiento.

La altura total de cada individuo se estimó visualmente, midiendo desde la base del tronco hasta el punto más alto de la copa. Esta estimación es clave para entender la estructura vertical de la vegetación y su capacidad de competencia por luz y otros recursos.

Cada especie fue identificada científicamente a través de la nomenclatura binomial, registrando su nombre científico, el cual estandariza la comunicación de los resultados a nivel internacional. Además, se incluyó el nombre del clasificador, que es la autoridad taxonómica quien describió por primera vez la especie, lo que asegura la precisión en la identificación taxonómica.

Asimismo, se registró la familia a la que pertenece cada especie, ya que esta categoría taxonómica superior aporta información valiosa sobre las relaciones evolutivas y ecológicas entre las especies.

Finalmente, se determinó el porcentaje de cobertura de cada especie, diferenciando entre árboles y arbustos, cuya cobertura se estimó visualmente. Este parámetro es crucial para entender la dominancia y el rol funcional de las especies en la comunidad vegetal, contribuyendo al análisis de la estructura y dinámica del ecosistema. Estos datos son fundamentales para realizar análisis detallados que permitan formular estrategias de manejo y conservación adecuadas para los ecosistemas estudiados.

### **Análisis de Datos**

En el análisis de los datos recolectados, se siguió un enfoque metodológico riguroso para calcular parámetros ecológicos que proporcionaran una comprensión detallada de la estructura y diversidad de la comunidad vegetal. Los datos fueron organizados y tabulados meticulosamente para permitir su análisis cuantitativo, facilitando la interpretación de la composición del ecosistema.

Uno de los primeros cálculos realizados fue el del área basal ( $AB$ ), un parámetro esencial en estudios forestales, ya que mide el área ocupada por los troncos de los árboles a la altura del pecho. Este valor se calculó utilizando la fórmula:

$$AB = \frac{\pi}{4} * (DAP)^2$$

Este indicador permite estimar la biomasa y la competencia por recursos entre los árboles, ofreciendo una visión cuantitativa del volumen de madera que ocupa cada especie en la parcela.

A partir del área basal y la altura total de los individuos, se estimó el volumen total ( $V$ ) de los árboles y arbustos. Este cálculo se realizó utilizando la ecuación:

$$V = AB * \text{Altura total} * \text{Factor de forma (0.6)}$$

El factor de forma es un coeficiente que ajusta la estimación para tener en cuenta la forma cónica o cilíndrica de los troncos y es fundamental para obtener una medida más precisa del volumen del árbol. Este parámetro resulta de particular importancia en la evaluación de la producción de madera y la gestión sostenible de los recursos forestales.

Para caracterizar la diversidad de la comunidad vegetal, se aplicaron varios índices ecológicos. El Índice de Simpson ( $D$ ) fue uno de los primeros en ser calculado. Este índice mide la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar de la muestra pertenezcan a la misma especie, proporcionando una estimación de la diversidad alfa. Valores más bajos de  $D$  indican mayor diversidad, mientras que valores cercanos a 1 sugieren que la comunidad está dominada por pocas especies.

Complementando el análisis de la diversidad, se calculó el Índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ), el cual permite medir tanto la equitatividad como la riqueza de especies en la comunidad. Este índice

tiene en cuenta no solo el número de especies presentes, sino también la distribución de los individuos entre ellas. Valores más altos de  $H'$  indican una mayor diversidad y una distribución más equitativa de los individuos entre las especies, sugiriendo una comunidad vegetal equilibrada y heterogénea.

Adicionalmente, se utilizó el Índice de Margalef, que estima la biodiversidad basándose en la proporción de individuos de diferentes especies. Este índice es especialmente útil para comparar la riqueza de especies entre diferentes comunidades o áreas, y es sensible a la variación en el número total de individuos y especies presentes.

La combinación de estos índices proporciona una visión integral de la estructura y diversidad de la comunidad vegetal estudiada, permitiendo realizar inferencias sobre su estado de conservación, la dinámica poblacional y la capacidad de respuesta a cambios ambientales.

Como lo señala Magurran (1988), el uso de múltiples índices ecológicos es clave para obtener una comprensión profunda de los patrones de biodiversidad y para tomar decisiones fundamentadas en la gestión de los ecosistemas.

### **Fase de Determinación Taxonómica**

Durante la fase de determinación taxonómica, se llevó a cabo un proceso riguroso de identificación de las especies presentes en las parcelas de estudio. Para ello, se utilizaron claves taxonómicas y descripciones detalladas de la flora colombiana, que permitieron establecer con precisión la identidad de las especies recolectadas. Uno de los recursos fundamentales en esta fase fue el Herbario de la Universidad Nacional de Colombia, cuya colección de ejemplares sirvió de referencia para comparaciones morfológicas directas. Además, se empleó la base de datos internacional The Plant List, una herramienta clave para la verificación de nombres científicos y autoridades taxonómicas, garantizando que los nombres de las especies y su clasificación estuvieran actualizados y correctamente atribuidos.

### **Análisis Florístico**

Posteriormente, se procedió a realizar el análisis florístico, cuyo objetivo principal fue caracterizar de manera detallada la composición y estructura de la vegetación. En este análisis se tomó en cuenta la diversidad florística, entendida como el número total de especies identificadas por área muestreada. Esta métrica ofrece una primera aproximación sobre la riqueza biológica del área y proporciona una base sólida para comparaciones con otros ecosistemas o regiones.

Para una mayor comprensión de la estructura vertical del bosque, se efectuó un análisis por estrato, en el cual se diferenciaron los estratos arbóreo y arbustivo. En cada estrato se contabilizaron las familias, géneros y especies presentes, lo que permite entender mejor la distribución de la vegetación a lo largo del perfil vertical del ecosistema y la diferenciación ecológica entre los distintos niveles de la comunidad.

Como parte de este análisis, se elaboraron tablas de flora detalladas siguiendo el sistema de clasificación propuesto por Engler y Cronquist (1991). Estas tablas incluyeron no solo el nombre científico de cada especie, sino también su nombre común, el estrato en el que se encuentra, su uso local o potencial, y el número de individuos registrados en cada parcela.

Este enfoque metodológico integral permite una caracterización exhaustiva de la vegetación en el área de estudio, proporcionando datos de alta calidad que pueden ser utilizados para el diseño de estrategias de conservación y manejo sostenible de los recursos forestales en la región. Al identificar tanto las especies dominantes como aquellas de uso local o valor potencial, se facilita la toma de decisiones informadas respecto al aprovechamiento de los recursos, la restauración de hábitats degradados, y la protección de especies clave para el equilibrio ecológico del ecosistema.

### Resultados y Discusión

El municipio de San Pablo de Borbur, ubicado en una zona rica en biodiversidad vegetal, se encuentra dentro de dos zonas de vida: el bosque muy húmedo montano bajo (bmh\_MB) y el bosque húmedo tropical (bh\_T). Estas zonas se caracterizan por condiciones climáticas que favorecen una alta diversidad de especies vegetales, las cuales, a su vez, son moldeadas por el uso del suelo, principalmente la agricultura y la ganadería. En las áreas de estudio, predomina una amplia representación de especies herbáceas, lo que refleja el impacto de las actividades agropecuarias sobre la composición florística local.

A través del inventario florístico realizado, se identificaron 31 especies arbóreas. Estas especies pertenecen a 31 géneros y se distribuyen en 21 familias botánicas, lo que evidencia la diversidad taxonómica del área (Tabla 2). Entre las familias más representativas por su abundancia y número de especies destacan la Fabaceae, Moraceae y Euforbiaceae. Estas familias juegan un rol clave en los ecosistemas de la región, ya sea por sus funciones ecológicas o por los usos asociados a sus especies.

**Tabla 2.** Familias, géneros y especies presentes en San Pablo de Borbur.

Familia	Genero	Especie
Acantaceae	<i>Trichanthera</i>	<i>gigantea</i> (Humb. & Bonpl.) Nees
Anacardiaceae	<i>Anacardium</i>	<i>excelsum</i> (Bertero ex Kunth) Skeels
Araceae	<i>Xanthosoma</i>	<i>sagittifolium</i> (L.) Schott <i>Xanthosoma sagittifolium</i>
Asteraceae	<i>Piptocoma</i>	<i>discolor</i> (Kunth) Pruski
Bignoniaceae	<i>Crescentia</i>	<i>cujete</i> L.
	<i>Jacaranda</i>	<i>caucana</i> Pittier
Euforbiaceae	<i>Euphorbia</i>	<i>cotinifolia</i> L.
	<i>Croton</i>	<i>cupreatus</i>
Fabaceae	<i>Albizia</i>	<i>carbonaria</i> Britton
	<i>Brownea</i>	<i>grandiceps</i> Jacq.
	<i>Bactris</i>	<i>gasipaes</i> Kunth
	<i>Bauhinia</i>	<i>picta</i> (Kunth) DC.
	<i>Inga</i>	<i>spectabilis</i> (Vahl) Willd.
	<i>Gliricidia</i>	<i>sepium</i> (Jacq.) Walp.
	<i>Brownea</i>	<i>grandiceps</i> Jacq.
Hiparicaceae	<i>Vismia</i>	<i>baccifera</i> (L.) Planch. & Triana
Lauraceae	<i>Nectandra</i>	<i>reticulata</i> Mez
Lecitidaceae	<i>Cariniana</i>	<i>pyriformis</i> Miers
Malvaceae	<i>Ceiba</i>	<i>pentandra</i> (L.) Gaertn.
Melastomataceae	<i>Miconia</i>	<i>squamulosa</i> Triana
Meliaceae	<i>Cedrela</i>	<i>odorata</i> L.
Mirtaceae	<i>Psidium</i>	<i>guajava</i>
Moraceae	<i>Ficus</i>	<i>luschnathiana</i> (Miq.) Miq.
	<i>Ficus</i>	<i>tequendamae</i> Dugand

	<i>Artocarpus</i>	<i>altilis</i> (Parkinson ex F.A.Zorn) Fosberg
Piperaceae	<i>Piper</i>	<i>aduncum</i> L.
Primulaceae	<i>Myrsine</i>	<i>guianensis</i> (Aubl.) Kuntze
Rubiaceae	<i>Borojoa</i>	<i>patinoi</i> Cuatrec.
Rutaceae	<i>Citrus</i>	<i>reticulata</i>
Sapotaceae	<i>Manilkara</i>	<i>zapota</i>
Urticaceae	<i>Cecropia</i>	<i>angustifolia</i>

Fuente: Autores

La mayoría de los individuos arbóreos identificados son especies nativas de la zona, lo que resalta su importancia para la conservación del ecosistema. Entre las especies de mayor relevancia ecológica y económica se encuentran *Trichanthera gigantea*, *Cariniana pyriformis*, *Ceiba pentandra* y *Cedrela odorata*, todas ellas ampliamente reconocidas por su valor maderable. Estas especies, además de su aprovechamiento económico, son vitales para la integridad de los ecosistemas forestales locales, ya que contribuyen a la estabilidad estructural del bosque y al mantenimiento de la biodiversidad.

A continuación, se presenta una descripción detallada de las especies vegetales encontradas en las áreas de estudio de cada predio agroproductivo, analizando sus características ecológicas, sus utilidades para los productores y las interacciones observadas en el contexto de las prácticas agropecuarias. Este análisis es crucial para identificar las sinergias y potenciales conflictos entre la biodiversidad y el uso de la tierra, permitiendo a los productores tomar decisiones informadas sobre el manejo sostenible de los recursos naturales.

Las especies arbóreas como *Cedrela odorata* y *Ceiba pentandra* son fundamentales no solo por su madera, sino también por su capacidad para ofrecer sombra y refugio a la fauna local, además de mejorar la calidad del suelo. De igual manera, las especies herbáceas cumplen funciones significativas en la regulación del microclima, la retención de humedad y como forraje para el ganado, lo que refuerza su utilidad en sistemas de producción agropecuaria.

El manejo de esta diversidad vegetal y la planificación de su uso de manera sostenible puede generar beneficios tanto para la producción como para la conservación, contribuyendo al equilibrio entre las actividades humanas y la protección del patrimonio natural del municipio.

### Indicadores de Biodiversidad

En la Tabla 3, se relacionan los indicadores de biodiversidad por finca en el municipio para su estudio.

**Tabla 3.** Índices de biodiversidad San Pablo de Borbur

N°	Finca	<i>N</i>	<i>AR</i> (%)	<i>S</i>	<i>DMg</i>	<i>H</i>	<i>D</i>
1	Miraflores 1	23	0,06	14	<b>4,15</b>	2,55	0,09
2	Las Cajitas	11	0,03	7	2,50	1,89	0,16
3	Diamante	<b>7</b>	<b>0,01</b>	<b>3</b>	<b>1,03</b>	1,08	<b>0,35</b>
4	Miraflores 2	20	0,04	10	3,00	2,25	0,11
5	El Porvenir	27	<b>0,07</b>	<b>15</b>	4,25	<b>2,62</b>	<b>0,08</b>
6	Miraflorez	28	0,04	10	2,70	2,27	0,11
7	El Miachi	9	0,02	5	1,82	<b>1,52</b>	0,24
8	San Mateo	15	0,03	6	1,85	1,77	0,17

9	Piedecuesta	<b>31</b>	0,04	10	2,62	2,20	0,12
10	El Diamante	18	0,03	7	2,08	1,86	0,17
11	Mata de Limón	20	0,05	11	3,34	2,28	0,12
12	El Placer	20	0,03	7	2,00	1,94	0,15
	<i>Media</i>	19,08	0,04	8,75	2,61	2,02	0,15
	<i>Desviación Estándar</i>	7,59	0,02	3,57	0,96	0,44	0,07

Fuente: Autores

*N*: Abundancia; *AR*: Abundancia Relativa; *S*: Riqueza específica; *DMg*: Diversidad Margalef; *H*: Equidad (Shannon-Wiener); *D*: Dominancia (Simpson)

La finca Piedecuesta destaca por presentar el mayor número de individuos ( $N = 31$ ), lo que podría indicar condiciones particularmente favorables para el desarrollo de poblaciones abundantes. Sin embargo, es importante señalar que una alta abundancia no necesariamente se traduce en una alta diversidad.

En cuanto a la abundancia relativa (*AR*), la finca El Porvenir muestra el valor más alto (0,07), seguida de cerca por Miraflores1 (0,06). Estos valores sugieren que estas fincas albergan una proporción significativa del total de individuos encontrados en el estudio. No obstante, es crucial considerar este parámetro en conjunto con otros índices para obtener una perspectiva más completa de la diversidad.

La riqueza de especies (*S*) es un indicador fundamental de la biodiversidad. En este aspecto, El Porvenir y Miraflores1 se destacan nuevamente con 15 y 14 especies respectivamente. Esta alta riqueza específica podría ser el resultado de prácticas agrícolas que fomentan la diversidad o de condiciones ambientales particularmente favorables para una variedad de especies.

El índice de Margalef (*DMg*) nos proporciona una medida de la riqueza específica que tiene en cuenta el tamaño de la muestra. Miraflores1 y El Porvenir presentan los valores más altos (4,15 y 4,25 respectivamente), lo que corrobora la alta diversidad observada en estas fincas. Este índice es particularmente útil para comparar sitios de diferentes tamaños o con diferentes intensidades de muestreo (Magurran, 2004).

El índice de Shannon-Wiener (*H*) es uno de los más utilizados para evaluar la diversidad de especies en estudios ecológicos. Este índice considera tanto la riqueza como la equitatividad de las especies. El Porvenir muestra el valor más alto (2,62), seguido de cerca por Miraflores1 (2,55). Estos valores sugieren que estas fincas no solo tienen un alto número de especies, sino que también presentan una distribución relativamente equitativa de individuos entre las especies presentes.

Por otro lado, el índice de Simpson (*D*) proporciona información sobre la dominancia de especies en la comunidad. En este caso, valores más bajos indican una mayor diversidad. La finca El Porvenir presenta el valor más bajo (0,08), lo que es consistente con los altos valores observados en los otros índices de diversidad.

Es importante destacar el caso de la finca Diamante, que presenta los valores más bajos en varios de los índices analizados. Con solo 3 especies y los valores más bajos de *N*, *AR*, *S* y *DMg*, esta finca parece tener una biodiversidad significativamente menor en comparación con las demás. Esto podría ser el resultado de prácticas agrícolas intensivas, condiciones ambientales desfavorables o perturbaciones recientes que han afectado la biodiversidad local.

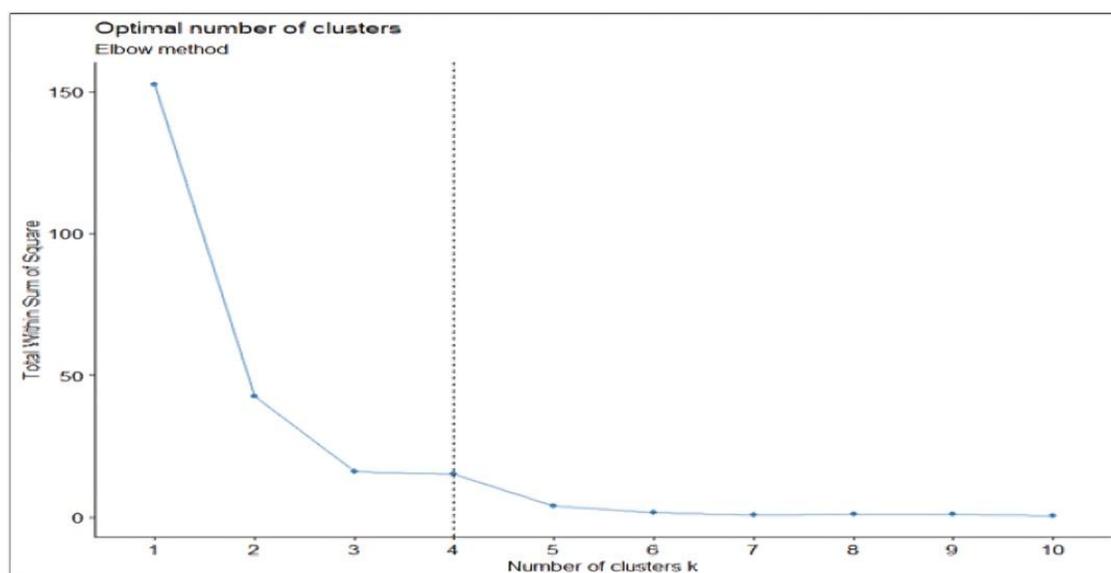
La variabilidad observada entre las fincas subraya la importancia de considerar múltiples factores al evaluar la biodiversidad en agroecosistemas. Las prácticas de manejo agrícola, la heterogeneidad del paisaje, la conectividad con áreas naturales circundantes y la historia de uso del suelo son algunos de los factores que pueden influir significativamente en los patrones de biodiversidad observados (Tscharrntke et al., 2012).

Los resultados expuestos, presentan implicaciones importantes para la gestión agrícola sostenible. Las fincas con mayor biodiversidad, como El Porvenir y Miraflores1, podrían servir como modelos para implementar prácticas que fomenten la diversidad biológica en otros sitios. La alta biodiversidad en sistemas agrícolas se ha asociado con una mayor resistencia a plagas y enfermedades, mejora en los servicios ecosistémicos como la polinización y el control biológico, y una mayor estabilidad y resiliencia frente a perturbaciones ambientales (Altieri & Nicholls, 2004).

Sin embargo, es crucial reconocer que la interpretación de estos índices debe realizarse con cautela y en el contexto específico de cada agroecosistema. Factores como la intensidad del muestreo, la estacionalidad y la escala espacial del estudio pueden influir en los resultados obtenidos. Además, la biodiversidad por sí sola no garantiza necesariamente un sistema agrícola más productivo o sostenible; es necesario considerar cómo las diferentes especies interactúan y contribuyen a las funciones del ecosistema (Wood et al., 2015).

### Clasificación Jerárquica de fincas en San Pablo de Borbur

El análisis de agrupamiento facilita la cuantificación de la variación entre grupos de fincas, o bien, permite establecer el grado de similitud entre ellas. De acuerdo con la Figura 1, se sugiere la conformación de tres agrupaciones óptimas, basadas en la similitud de las variables de abundancia ( $N$ ), riqueza específica ( $S$ ), índice de diversidad de Margalef ( $DMg$ ), índice de equidad (Shannon-Wiener) y dominancia de Simpson ( $D$ ) para las 12 fincas del municipio.



**Figura 1.** Número óptimo de clústers - Fincas de San Pablo de Borbur (Fuente: Autores)

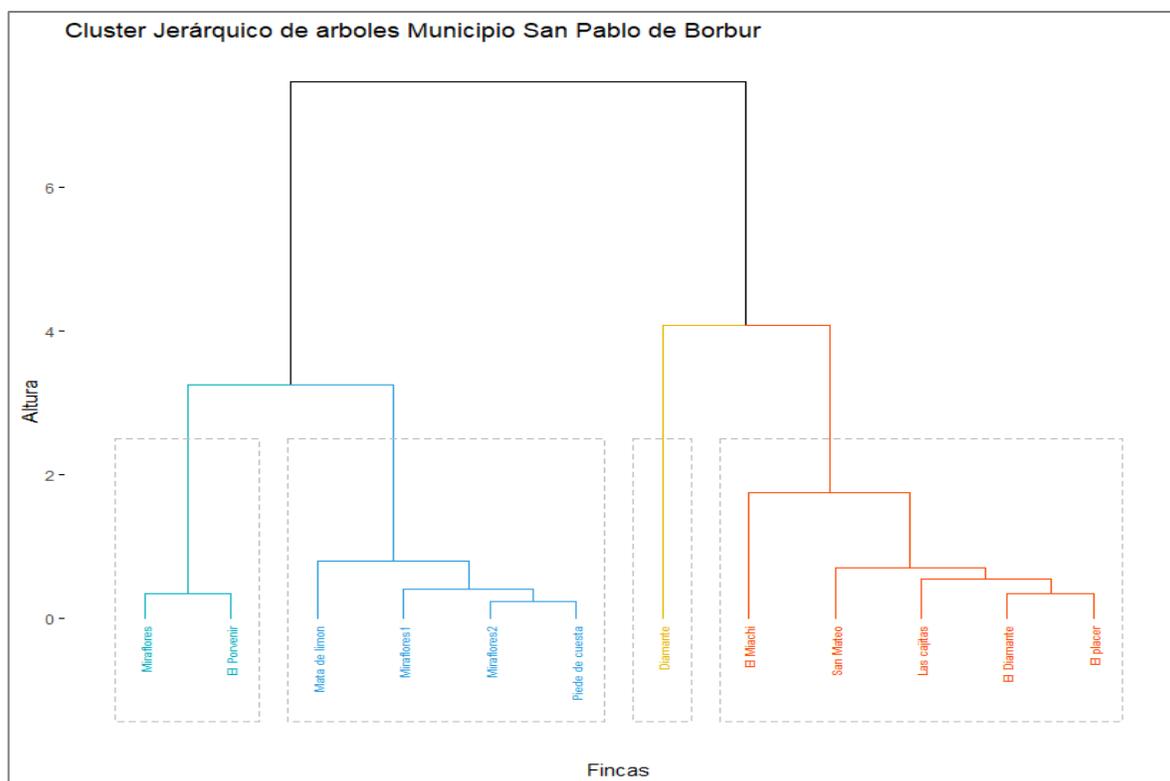
En la Tabla 2, se registran los resultados de los índices de biodiversidad para San Pablo de Borbur, y como se trata de un grupo de variables de tipo cuantitativo, se aplicó inicialmente un análisis de componentes principales (ACP) y posteriormente un análisis de clúster jerárquico. En la Figura 2, a través del dendograma como herramienta de clasificación, se observa la agrupación de las fincas en cada uno, los cuales se describen a continuación:

El análisis revela una interesante distribución de la diversidad arbórea en la región. Esta estructura no solo refleja la complejidad del ecosistema local, sino que también plantea importantes implicaciones para la gestión forestal y la conservación de la biodiversidad.

En primer lugar, la agrupación de las fincas Miraflores, El Porvenir, Mata de Limón, Miraflores1, Miraflores2 y Piedecuesta en un cluster azul claro sugiere una homogeneidad relativa

en sus poblaciones arbóreas. Este patrón podría ser el resultado de similitudes en las condiciones edafoclimáticas o de prácticas de manejo compartidas. Según un estudio de Armenteras et al. (2019), la homogeneidad en la composición de especies arbóreas dentro de un área puede indicar una historia de uso del suelo similar o la presencia de factores ambientales dominantes que favorecen ciertos tipos de vegetación. Esta observación plantea la necesidad de investigar más a fondo las características específicas que unen a estas fincas.

Por otro lado, el segundo grupo, compuesto por El Miachí, San Mateo, Las Cajitas, El Diamante y El Placer, muestra una composición arbórea distinta. La diferenciación entre este grupo y el primero podría reflejar variaciones significativas en las condiciones ambientales o en las prácticas de manejo forestal. De acuerdo con Poorter et al. (2016), la diversidad funcional de los árboles puede variar considerablemente incluso en áreas geográficamente cercanas, dependiendo de factores como la disponibilidad de agua, la fertilidad del suelo y las perturbaciones antropogénicas. Esta variabilidad subraya la importancia de adoptar enfoques de manejo adaptados a las condiciones específicas de cada grupo de fincas.



**Figura 2.** Dendrograma - Agrupación de fincas - San Pablo de Borbur (Fuente: Autores)

La situación única de la finca Diamante, aislada en el dendrograma, merece una atención especial. Su distintividad podría ser indicativa de condiciones ecológicas excepcionales o de prácticas de manejo innovadoras. Tal como señalan Perfecto y Vandermeer (2010), las fincas con características únicas dentro de un paisaje agrícola pueden actuar como "piedras de paso" ecológicas, facilitando la conectividad del paisaje y la conservación de especies raras. La investigación futura debería centrarse en comprender los factores que contribuyen a la singularidad de Diamante, ya que podría ofrecer valiosas lecciones para la conservación y el manejo sostenible de los recursos forestales en la región.

La estructura general del dendrograma, que muestra tanto similitudes como diferencias notables entre grupos de fincas, tiene implicaciones significativas para la conservación de la biodiversidad a escala de paisaje. Este patrón se alinea con el concepto de "heterogeneidad beta" descrito por Socolar et al. (2016), que sugiere que la diversidad de hábitats dentro de un paisaje puede contribuir sustancialmente a la biodiversidad regional. En este contexto, la variabilidad observada entre las fincas de San Pablo de Borbur podría ser crucial para mantener una alta diversidad de especies arbóreas a nivel municipal.

Además, la agrupación observada podría tener implicaciones importantes para el diseño de estrategias de conservación y manejo forestal. Según Chazdon y Guariguata (2016), el reconocimiento de patrones de similitud en la composición de especies puede guiar la implementación de prácticas de restauración y manejo adaptativo. Por ejemplo, las estrategias exitosas aplicadas en una finca podrían ser potencialmente efectivas en otras fincas del mismo grupo.

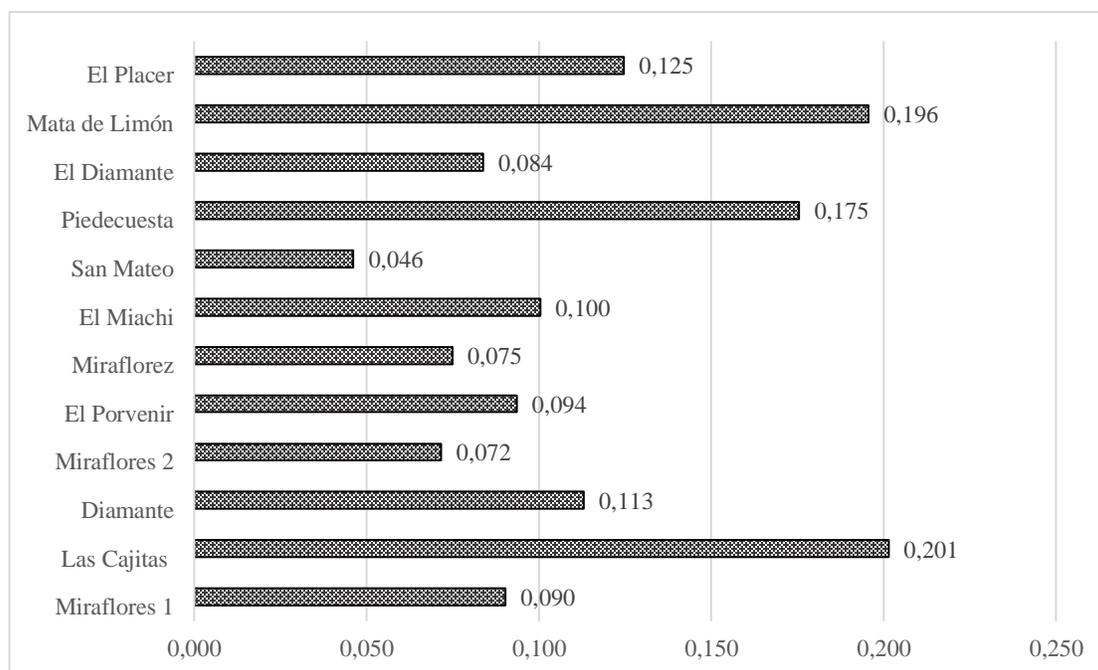
### **Volumen total de los árboles aprovechables en las fincas de estudio**

El estudio realizado en 12 predios agropecuarios del municipio de San Pablo de Borbur reveló una significativa diversidad arbórea, con un total de 31 especies forestales identificadas. Esta riqueza de especies es un indicador positivo de la biodiversidad local y sugiere un potencial considerable para el manejo forestal sostenible en la región. La diversidad de especies en sistemas agroforestales no solo contribuye a la conservación de la biodiversidad, sino que también puede mejorar la resiliencia del ecosistema frente a perturbaciones ambientales y económicas (Bhagwat et al., 2008).

En la Figura 3, se describen los valores para el volumen aprovechable de las especies forestales por finca en San Pablo de Borbur.

Entre las especies registradas, *Cedrela odorata* e *Inga spectabilis* destacaron como las predominantes en términos de producción maderera. Esta dominancia podría ser resultado tanto de factores ecológicos como de preferencias de manejo histórico en la región. *Cedrela odorata*, conocida comúnmente como cedro, es una especie de alto valor comercial debido a la calidad de su madera y su rápido crecimiento en condiciones favorables (Navarro-Martínez et al., 2018). Por otro lado, *Inga spectabilis*, además de su potencial maderero, es reconocida por su capacidad de fijar nitrógeno y mejorar la fertilidad del suelo, lo que la hace valiosa en sistemas agroforestales (Pennington & Revelo, 1997).

El análisis de volumen aprovechable por predio reveló variaciones significativas. Los predios El Placer, Mata de Limón, Las Cajitas, Diamante y Piedecuesta mostraron los mayores volúmenes de *Cedrela odorata*, con Las Cajitas presentando el volumen más alto (0,201 m<sup>3</sup>). Esta variabilidad en el volumen aprovechable entre predios podría atribuirse a diferencias en las condiciones edafoclimáticas, prácticas de manejo, o la edad de los árboles. Según un estudio de Piotta et al. (2010), factores como la fertilidad del suelo, la disponibilidad de agua y las prácticas silviculturales pueden influir significativamente en el crecimiento y rendimiento de especies maderables como *Cedrela odorata* en sistemas agroforestales.



**Figura 3.** Volumen aprovechable de las especies forestales por finca. (Fuente: Autores)

En contraste, los predios San Mateo y Miraflores presentaron los volúmenes más bajos, con 0,046 y 0,072 m<sup>3</sup> respectivamente, correspondientes a las especies *Myrsine guianensis* e *Inga spectabilis*. Estos menores volúmenes podrían deberse a una variedad de factores, incluyendo diferencias en la edad de los árboles, condiciones de sitio menos favorables, o prácticas de manejo distintas. Sin embargo, como se señala en el estudio, existe potencial para mejorar estos rendimientos con el tiempo y mediante prácticas de manejo adecuadas.

La presencia de *Myrsine guianensis*, aunque con menor volumen aprovechable, es interesante desde una perspectiva ecológica. Esta especie, comúnmente conocida como cucharo, es nativa de América del Sur y tiene importancia en la restauración ecológica y como fuente de alimento para la fauna local (Cárdenas & Salinas, 2007). Su inclusión en los sistemas agroforestales podría contribuir a objetivos de conservación además de los productivos.

Estos resultados tienen implicaciones importantes para el manejo forestal sostenible en la región. En primer lugar, sugieren la necesidad de un enfoque diferenciado en el manejo de los predios, considerando las variaciones en el potencial productivo de cada uno. Según Montagnini et al. (2015), el éxito de los sistemas agroforestales depende en gran medida de la selección adecuada de especies y prácticas de manejo adaptadas a las condiciones locales.

Además, la dominancia de *Cedrela odorata*, si bien es económicamente atractiva, plantea desafíos para la conservación de la biodiversidad y la sostenibilidad a largo plazo. La diversificación de especies maderables podría ser una estrategia para reducir riesgos asociados con plagas y enfermedades, así como para mejorar la resiliencia del sistema frente a cambios en las condiciones ambientales o del mercado (Rist et al., 2014).

Por otro lado, la presencia de especies como *Inga spectabilis* ofrece oportunidades para implementar prácticas agroforestales que combinen beneficios productivos y ecológicos. Los sistemas agroforestales que incluyen especies fijadoras de nitrógeno pueden mejorar la fertilidad del suelo y reducir la dependencia de insumos externos, contribuyendo así a la sostenibilidad del sistema (Jose, 2009).

El análisis de la composición de especies en los predios estudiados en San Pablo de Borbur revela una interesante dinámica entre las especies nativas y las introducidas, particularmente *Pinus patula* y *Eucalyptus globulus*. Esta coexistencia de especies nativas e introducidas en sistemas agroforestales es un fenómeno común en muchas regiones tropicales y subtropicales, y merece una discusión detallada sobre sus implicaciones ecológicas y económicas.

En primer lugar, la presencia de especies introducidas como *Pinus patula* y *Eucalyptus globulus* en volúmenes comparables a las especies nativas refleja una tendencia global en la silvicultura tropical. Estas especies exóticas son ampliamente utilizadas en plantaciones forestales debido a su rápido crecimiento, alta productividad y adaptabilidad a diversos entornos (Brockerhoff et al., 2013). Su introducción en los sistemas agroforestales de San Pablo de Borbur sugiere un enfoque orientado a maximizar la producción maderera a corto y mediano plazo.

La superioridad en rendimiento de estas especies introducidas sobre las nativas es un fenómeno bien documentado. Por ejemplo, un estudio realizado por Piotto et al. (2010), en Costa Rica demostró que algunas especies exóticas, incluyendo *Pinus* sp., superaron significativamente a las especies nativas en términos de crecimiento y producción de madera en plantaciones mixtas. Este mayor rendimiento se atribuye a características como tasas de crecimiento más rápidas, mayor eficiencia en el uso de recursos y, en muchos casos, a programas de mejoramiento genético más avanzados.

Sin embargo, la predominancia de especies introducidas en sistemas agroforestales plantea importantes consideraciones ecológicas. Aunque estas especies pueden ofrecer beneficios económicos a corto plazo, su impacto en la biodiversidad local y en los servicios ecosistémicos puede ser significativo. Según Bremer y Farley (2010), las plantaciones de especies exóticas generalmente albergan menos biodiversidad que los bosques nativos o las plantaciones de especies nativas. Además, especies como *Eucalyptus globulus* han sido asociadas con impactos negativos en los recursos hídricos locales debido a su alta demanda de agua (Huber et al., 2010).

La menor cantidad de especies nativas en los predios estudiados es una tendencia preocupante desde una perspectiva de conservación. Las especies arbóreas nativas juegan un papel crucial en el mantenimiento de la biodiversidad local, proporcionando hábitat y recursos alimenticios para la fauna nativa, y contribuyendo a la estabilidad ecológica del ecosistema (Chazdon et al., 2016). Además, muchas especies nativas tienen valores culturales y ecológicos que van más allá de su potencial maderero.

No obstante, es importante reconocer que los sistemas agroforestales que combinan especies nativas e introducidas pueden ofrecer un equilibrio entre los objetivos de producción y conservación. Kely (2006) sugiere que las plantaciones mixtas que incluyen tanto especies nativas como exóticas pueden proporcionar beneficios ecológicos superiores a las plantaciones monoespecíficas, mientras mantienen niveles de productividad económicamente viables.

### Conclusiones

El estudio realizado en el municipio de San Pablo de Borbur revela un ecosistema complejo y diverso, caracterizado por una rica biodiversidad vegetal. La identificación de 31 especies arbóreas distribuidas en 21 familias botánicas subraya la importancia ecológica de la región. Sin embargo, esta diversidad se encuentra bajo la presión de las actividades agropecuarias, lo que se refleja en la predominancia de especies herbáceas en algunas áreas.

Los índices de biodiversidad calculados para las diferentes fincas muestran una variabilidad significativa. Fincas como El Porvenir y Miraflores1 destacan por su alta riqueza de especies y diversidad, mientras que otras, como Diamante, presentan valores notablemente bajos. Esta heterogeneidad sugiere que las prácticas de manejo y las condiciones ambientales específicas de cada finca juegan un papel crucial en la conservación de la biodiversidad local.

El análisis de agrupamiento de las fincas revela patrones interesantes de similitud y diferencia en la composición de especies arbóreas. La formación de tres grupos distintos indica que, a pesar de estar en la misma región, existen variaciones significativas en las condiciones ecológicas o en las prácticas de manejo entre las fincas. Esto tiene implicaciones importantes para el diseño de estrategias de conservación y manejo forestal adaptadas a las condiciones específicas de cada grupo.

Por otra parte, en cuanto al volumen aprovechable de las especies forestales, se observa una clara dominancia de *Cedrela odorata* e *Inga spectabilis*. Esta predominancia refleja tanto el valor económico de estas especies como su adaptabilidad a las condiciones locales. No obstante, la variabilidad en el volumen aprovechable entre las fincas sugiere que existen oportunidades para optimizar las prácticas de manejo y mejorar la productividad en algunas áreas.

Finalmente, la presencia de especies introducidas como *Pinus patula* y *Eucalyptus globulus* en volúmenes comparables a las especies nativas plantea un desafío para la conservación de la biodiversidad local. Si bien estas especies exóticas ofrecen beneficios económicos a corto plazo debido a su rápido crecimiento y alta productividad, su impacto en el ecosistema nativo debe ser cuidadosamente evaluado y gestionado.

### Referencias bibliográficas

- Alcaldía Municipal de San Pablo de Borbur. (2020). *Plan de desarrollo municipal 2020-2023*. [https://sanpablodeborburboyaca.micolombiadigital.gov.co/sites/sanpablodeborburboyaca/content/files/000399/19932\\_plan-de-desarrollo-20202023.pdf](https://sanpablodeborburboyaca.micolombiadigital.gov.co/sites/sanpablodeborburboyaca/content/files/000399/19932_plan-de-desarrollo-20202023.pdf)
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2004). Biodiversity and pest management in agroecosystems. Food Products Press. <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781482277937/biodiversity-pest-management-agroecosystems-miguel-altieri-clara-nicholls>
- Armenteras, D., Espelta, J. M., Rodríguez, N., & Retana, J. (2019). Deforestation dynamics and drivers in different forest types in Latin America: Three decades of studies (1980–2010). *Global Environmental Change*, 54, 16-27. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.11.004>
- Bhagwat, S. A., Willis, K. J., Birks, H. J. B., & Whittaker, R. J. (2008). Agroforestry: A refuge for tropical biodiversity? *Trends in Ecology & Evolution*, 23(5), 261-267. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.01.005>
- Bremer, L. L., & Farley, K. A. (2010). Does plantation forestry restore biodiversity or create green deserts? A synthesis of the effects of land-use transitions on plant species richness. *Biodiversity and Conservation*, 19(14), 3893-3915. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9936-4>
- Brockhoff, E. G., Jactel, H., Parrotta, J. A., Quine, C. P., & Sayer, J. (2008). Plantation forests and biodiversity: Oxymoron or opportunity? *Biodiversity and Conservation*, 17(5), 925-951. <https://doi.org/10.1007/s10531-008-9380-x>
- Cárdenas, D., & Salinas, N. (2007). *Libro rojo de plantas de Colombia*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. [https://sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/LR\\_MADERABLES.pdf](https://sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/LR_MADERABLES.pdf)
- Chazdon, R. L., & Guariguata, M. R. (2016). Natural regeneration as a tool for large-scale forest restoration in the tropics: Prospects and challenges. *Biotropica*, 48(6), 716-730. <https://doi.org/10.1111/btp.12381>
- Chazdon, R. L., Broadbent, E. N., Rozendaal, D. M., Bongers, F., Zambrano, A. M. A., Aide, T. M., ... & Poorter, L. (2016). Carbon sequestration potential of second-growth forest regeneration in the Latin American tropics. *Science Advances*, 2(5), e1501639. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1501639>

- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2016). *Tercer censo nacional agropecuario*. [https://www.dane.gov.co/files/images/foros/foro-de-entrega-de-resultados-y-cierre-3-censo-nacional-agropecuario/CNA\\_Tomo2-Resultados.pdf](https://www.dane.gov.co/files/images/foros/foro-de-entrega-de-resultados-y-cierre-3-censo-nacional-agropecuario/CNA_Tomo2-Resultados.pdf)
- FAO & Agencia de Desarrollo Rural (ADR). (2019). *Plan integral de desarrollo agropecuario y rural con enfoque territorial - Boyacá*. <https://www.adr.gov.co/wp-content/uploads/2021/07/BOYACA-TOMO-1.pdf>
- Gentry, A. H. (1982). Patterns of neotropical plant species diversity. *Evolutionary Biology*, 15, 1-84. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6968-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6968-8_1)
- Gobernación de Boyacá. (2020). *Plan de desarrollo departamental 2020-2023*. <https://www.boyaca.gov.co/wp-content/uploads/2020/06/pdd2020-2023boy.pdf>
- Huber, A., Iroumé, A., Mohr, C., & Frêne, C. (2010). Effect of *Pinus radiata* and *Eucalyptus globulus* plantations on water resource in the Coastal Range of Biobío region, Chile. *Bosque*, 31(3), 219-230. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002010000300006>
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. (2022). Biodiversidad en Boyacá: estado, tendencias y amenazas. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/35739>
- Jaimés Suárez, Y. Y., Agudelo Castañeda, G. A., Báez Daza, E. Y., Montealegre Bustos, F., Coronado Silva, R. A., Rengifo Estrada, G. A., & Rojas Molina, J. (2022). *Modelo productivo para el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) en el departamento de Boyacá*. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7405590>
- Jose, S. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview. *Agroforestry Systems*, 76(1), 1-10. <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9229-7>
- Kelty, M. J. (2006). The role of species mixtures in plantation forestry. *Forest Ecology and Management*, 233(2-3), 195-204. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.05.011>
- Magurran, A. E. (1988). Ecological diversity and its measurement. *Princeton University Press*.
- Magurran, A. E. (2004). Measuring biological diversity. *Blackwell Publishing*.
- Matteucci, S. D., & Colma, A. (1982). Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, *Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico*. [https://www.researchgate.net/publication/44553298\\_Metodologia\\_para\\_el\\_estudio\\_de\\_la\\_vegetacion\\_por\\_Silvia\\_D\\_Matteucci\\_y\\_Aida\\_Colma](https://www.researchgate.net/publication/44553298_Metodologia_para_el_estudio_de_la_vegetacion_por_Silvia_D_Matteucci_y_Aida_Colma)
- Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., & Eibl, B. (2015). Sistemas agroforestales: *Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. CATIE. <https://cipav.org.co/wp-content/uploads/2020/08/sistemas-agroforestales-funciones-productivas-socioeconomicas-y-ambientales.pdf>
- Navarro-Martínez, A., Ellis, E. A., Hernández-Gómez, I., Romero-Montero, J. A., & Sánchez-Sánchez, O. (2018). Distribution and abundance of big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) on the Yucatan Peninsula, Mexico. *Tropical Conservation Science*, 11, 1940082918766875. <https://doi.org/10.1177/1940082918766875>
- Pennington, T. D., & Revelo, N. (1997). El género *Inga* en el Ecuador: Morfología, distribución y usos. *The Royal Botanic Gardens, Kew*.
- Perfecto, I., & Vandermeer, J. (2010). The agroecological matrix as alternative to the land-sparing/agriculture intensification model. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(13), 5786-5791. <https://doi.org/10.1073/pnas.0905455107>

- Piotto, D., Craven, D., Montagnini, F., & Alice, F. (2010). Silvicultural and economic aspects of pure and mixed native tree species plantations on degraded pasturelands in humid Costa Rica. *New Forests*, 39(3), 369-385. <https://doi.org/bxk8xf>
- Poorter, L., et al. (2016). Biomass resilience of Neotropical secondary forests. *Nature*, 530(7589), 211-214. <https://doi.org/f79vmf>
- Rist, L., Shanley, P., Sunderland, T., Sheil, D., Ndoye, O., Liswanti, N., & Tieguhong, J. (2012). The impacts of selective logging on non-timber forest products of livelihood importance. *Forest Ecology and Management*, 268, 57-69. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.04.037>
- Socolar, J. B., Gilroy, J. J., Kunin, W. E., & Edwards, D. P. (2016). How should beta-diversity inform biodiversity conservation? *Trends in Ecology & Evolution*, 31(1), 67-80. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.11.005>
- The Plant List. (2013). Version 1.1. <http://www.theplantlist.org/> (accessed 1st January 2021).
- Tscharntke, T., Clough, Y., Wanger, T. C., Jackson, L., Motzke, I., Perfecto, I., ... & Whitbread, A. (2012). Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation*, 151(1), 53-59. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.01.068>
- Universidad Nacional de Colombia. (2023). Herbario Nacional Colombiano (COL). *Instituto de Ciencias Naturales*. <http://www.biovirtual.unal.edu.co/es/colecciones/search/plants/>
- Wood, S. A., Karp, D. S., DeClerck, F., Kremen, C., Naeem, S., & Palm, C. A. (2015). Functional traits in agriculture: Agrobiodiversity and ecosystem services. *Trends in Ecology & Evolution*, 30(9), 531-539. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.06.013>
- Jaimés Suárez, Y. Y., Agudelo Castañeda, G. A., Báez Daza, E. Y., Montealegre Bustos, F., Coronado Silva, R. A., Rengifo Estrada, G. A., & Rojas Molina, J. (2022). *Modelo productivo para el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) en el departamento de Boyacá*. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7405590>