

Análisis del valor ecológico en la implementación de HMP en procesos de compensación ambiental del Quindío

Analysis of the ecological value in the implementation of HMP in environmental compensation processes in Quindío

Beatriz Eugenia Bustamante A.¹ <https://orcid.org/0009-0003-2761-33761>, Lina Marcela Giraldo Z.² <https://orcid.org/0009-0005-7628-6900> Andres Felipe Hoyos R.³ <https://orcid.org/0009-0009-6799-260X>

¹. Centro Agroindustrial (SENA), Armenia Quindío, Colombia

². Centro Agroindustrial (SENA), Armenia Quindío, Colombia

³. Centro Agroindustrial (SENA), Armenia Quindío, Colombia

Recibido: Abril 02 de 2025

Aceptado: Junio 20 de 2025

*Correspondencia del autor: Andres Felipe Hoyos

E-mail: ahoyosr@sena.edu.co

<https://doi.org/10.47499/revistaaccb.v1i37.325>

Resumen

Introducción: La ecología del paisaje analiza la relación entre estructura, función y cambios de los paisajes, integrando factores naturales y antrópicos. En el Quindío, la transformación acelerada del territorio ha generado pérdida de biodiversidad, por lo que es necesario evaluar el valor ecológico de las Herramientas de Manejo del Paisaje (HMP) en procesos de compensación ambiental. **Objetivo:** Estimar el valor ecológico en la implementación de HMP en procesos de compensación ambiental en el departamento del Quindío. **Metodología:** El estudio se realizó en predios de varios municipios del Quindío. Se utilizaron drones Phantom 4 RTK para generar ortomosaicos y calcular métricas del paisaje (índice de forma de Patton y compactación). Además, se elaboró un inventario de especies de flora nativa con verificación taxonómica y análisis de su valor ecológico en conservación, restauración y servicios ecosistémicos. **Resultados:** Los fragmentos de bosque presentaron formas irregulares y altos niveles de fragilidad en algunos predios. Las especies vegetales ornamentales y las que aportan alimento a fauna silvestre tuvieron mayor relevancia en procesos de restauración. La implementación de HMP como cercas vivas, plantaciones protectoras y enriquecimiento vegetal favoreció la conectividad ecológica y la recuperación hídrica. **Conclusiones:** El uso de SIG y drones facilita el análisis de fragmentación y conectividad a escala de paisaje. Las especies nativas son esenciales para la conservación, especialmente las de valor ornamental y alimenticio. Se recomienda fortalecer la investigación y restauración, e integrar las HMP en estrategias regionales para promover la sostenibilidad y la captura de carbono en el Eje Cafetero.

Palabras clave: Ecología, conservación, paisaje, cultura, territorio, gestión ambiental

Abstract

Introduction: Landscape ecology examines the relationship between the structure, function, and dynamics of landscapes, integrating both natural and anthropogenic factors. In the department of Quindío, the rapid transformation of the territory has led to biodiversity loss, making it necessary to assess the ecological value of Landscape Management Tools (LMT) in environmental compensation processes. **Objective:** To estimate the ecological value derived from the implementation of LMT in environmental compensation processes in the department of Quindío. **Methodology:** The study was conducted on properties located in several municipalities of Quindío. Phantom 4 RTK drones were used to generate orthomosaics and calculate landscape metrics (Patton's shape index and compactness). Additionally, an inventory of native plant species was developed, including taxonomic verification and analysis of their ecological value in conservation, restoration, and ecosystem service provision. **Results:** Forest fragments predominantly exhibited irregular shapes, with high fragility levels in some properties. Plant species classified as ornamental or those providing food resources for wildlife showed higher relevance in restoration and conservation processes. The implementation of LMTs—such as live fences, protective plantations, and vegetation enrichment—enhanced ecological connectivity and supported the recovery of water resources. **Conclusions:** The use of geospatial technologies such as GIS and drones facilitates the analysis of fragmentation and connectivity at the landscape scale. Native species play a key role in conservation, particularly those with ornamental and nutritional value for wildlife. Strengthening research and restoration initiatives, as well as integrating LMT into regional strategies, is recommended to promote sustainability and carbon capture in the Coffee-Growing Axis.

Keywords: Ecology, conservation, landscape, culture, territory, environmental management

Introducción

La ecología del paisaje, que estudia la relación entre la estructura, función y cambio de los paisajes, es un campo crucial para la conservación. Esta disciplina considera tanto los factores naturales como la influencia de las actividades humanas, que son la principal variable que moldea el paisaje. Un claro ejemplo de esto se observa en la región Andina de Colombia, parte del Complejo Ecorregional de los Andes del Norte, un área de alta prioridad para la conservación debido a su biodiversidad única. (1)

La transformación acelerada de los paisajes andinos, impulsada por las actividades antrópicas, está provocando una alarmante pérdida de biodiversidad. La intensificación de la agricultura, por ejemplo, ha llevado a la homogeneización de los paisajes, eliminando hábitats clave que muchas especies necesitan para sobrevivir y completar sus ciclos de vida. (2,3)

Ante este panorama, la presente investigación busca analizar y valorar el impacto de la actividad humana en el paisaje, con el fin de proponer soluciones. Específicamente, el objetivo principal es estimar el valor ecológico

de las Herramientas de Manejo del Paisaje (HMP) implementadas en procesos de compensación ambiental en el departamento del Quindío. En este contexto, el valor ecológico se entiende como la capacidad que tienen los ecosistemas o fragmentos del paisaje para mantener la biodiversidad, facilitar la conectividad entre hábitats y garantizar el funcionamiento de procesos ecológicos esenciales. Este enfoque es vital para desarrollar estrategias que permitan la coexistencia de la biodiversidad con los sistemas productivos, asegurando así la sostenibilidad de los ecosistemas y la preservación del patrimonio natural y cultural de la región. (4)

Metodología

Para la ejecución de esta investigación se llevó a cabo diferentes fases como:

Área de estudio: El estudio se realizó en el Departamento del Quindío en los municipios de Calarcá, Salento, Buenavista, Pijao, Córdoba y Armenia, una vez definida el área de estudio, se procedió a ejecutar las siguientes fases.

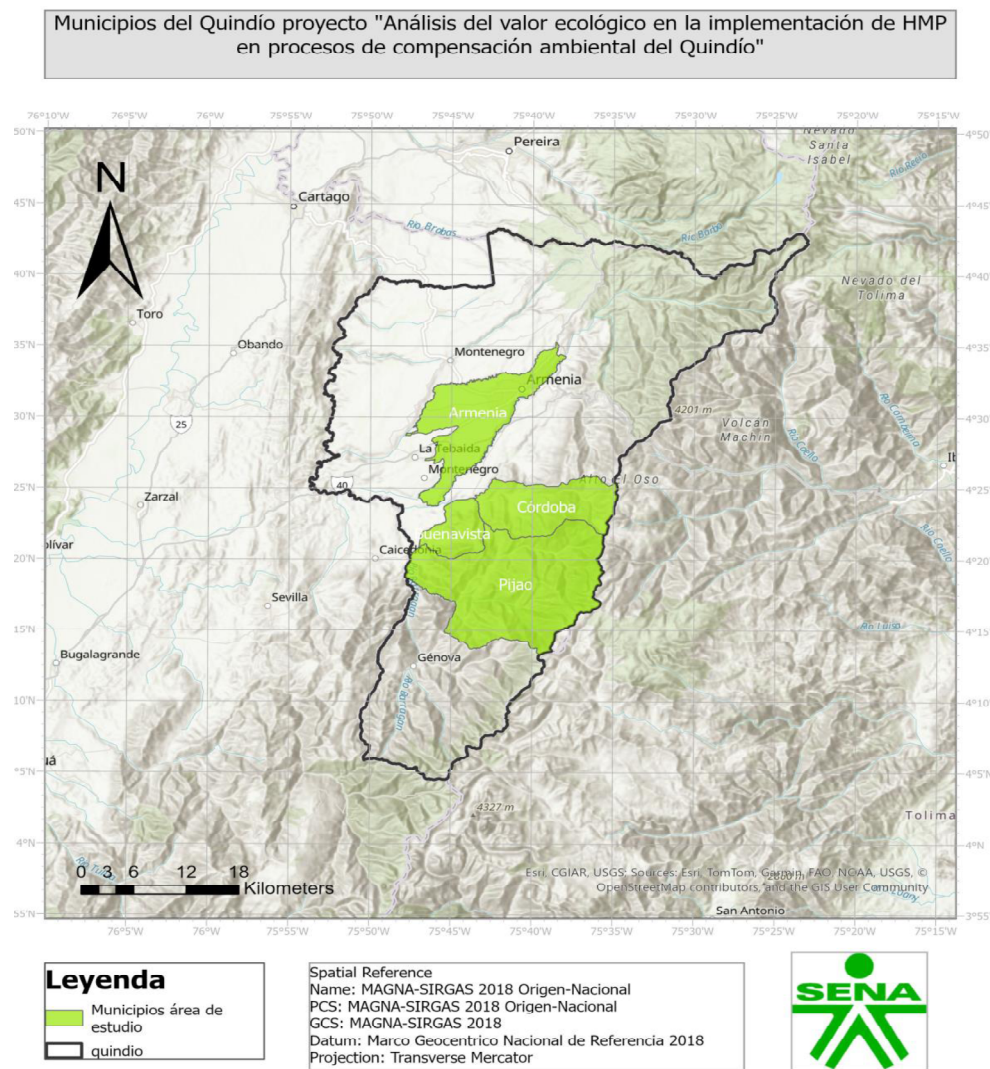


Figura 1. Municipios del Departamento del Quindío que hicieron parte del área de estudio.

Estimación de valor ecológico a nivel de predio

Para el análisis a nivel de predio se seleccionaron predios de los municipios de Buenavista, Pijao y Córdoba y un predio ubicado en Armenia, asociado a las áreas de conservación de la Finca La Sirenita del SENA Regional Quindío. Para adquirir la información a nivel de predio se empleó un drone Phantom 4 RTK, con sensor RGB 4K de 20 mega pixeles, el vuelo se realizó a una altura entre 70 y 120 metros y el *overlap* o solapamiento en un porcentaje de 75-80%. Una vez obtenidos los ortomosaicos se digitalizaron, se calculó el área y perímetros de los fragmentos identificados en cada foto y finalmente se aplicaron las métricas del paisaje: el **índice de forma de Patton**, que evalúa el grado de complejidad en la forma de los fragmentos al compararlos con figuras geométricas regulares y el **índice de compactación**, que mide qué tan compacto o alargado es un fragmento y su eficiencia espacial. (5)

Análisis de valor de las especies de flora

Teniendo en cuenta información suministrada en el proyecto SGPS 8611: "Diseño de una metodología para la implementación y valoración de los procesos de compensación ambiental para empresas del departamento del Quindío" realizado por el Grupo SENNOVA del Centro Agroindustrial SENA Regional Quindío. Se elaboró un listado de las especies de flora arbórea nativa, incluyendo información asociada a su verificación taxonómica según el sistema APG IV, en donde cada ficha incluye la taxonomía completa, e información general sobre la especie y el valor ecológico que tiene, finalmente se realizó una visita al Vivero del Comité de Cafeteros en el 2023, con el fin de conocer el procedimiento en el mantenimiento de las especies, los criterios para definición de especies nativas, escogencia de especies para siembra en los proyectos de restauración y específicamente a las herramientas de manejo del paisaje definidas para tal fin.

Resultados

Estimación de valor ecológico a nivel de predio

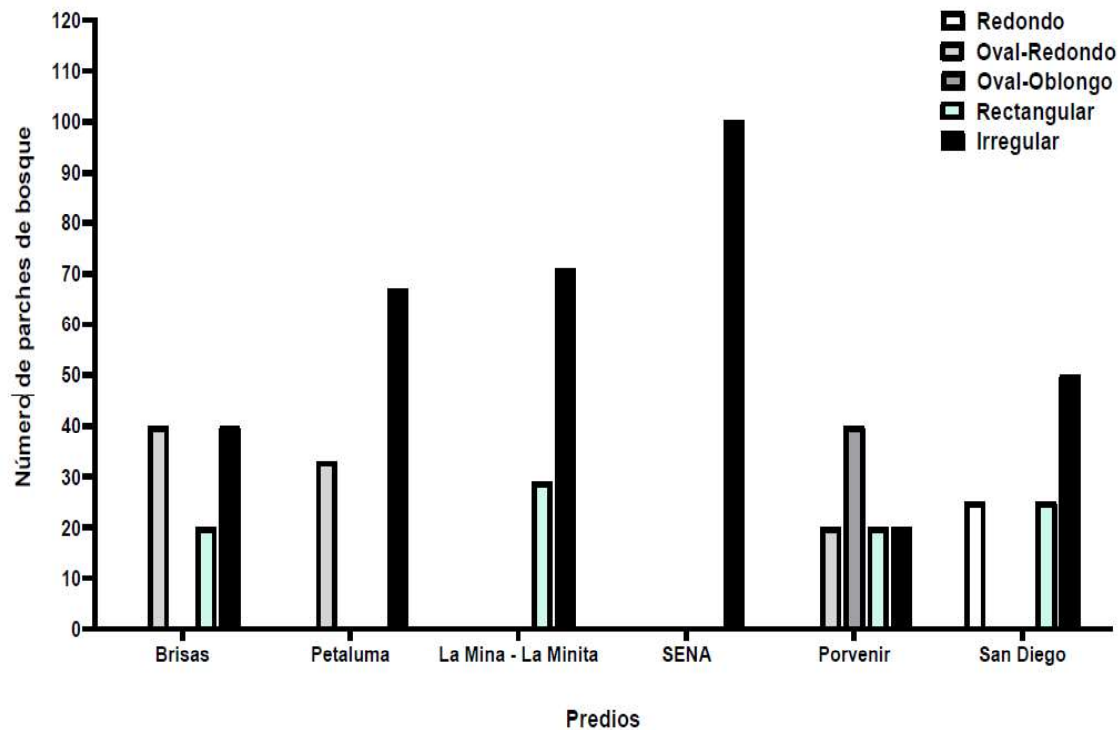
Se emplearon los ortofotomosaicos generados con el dron para la ayuda de la interpretación de los fragmentos de bosque presentes en cada predio, los cuales se clasificaron por tamaño y se les aplicó las métricas del paisaje, los predios evaluados fueron (Predio Brisas, Petaluma, Porvenir, La Mina, San Diego, SENA Centro Agroindustrial y Milán 2).

- Planos de los predios analizados



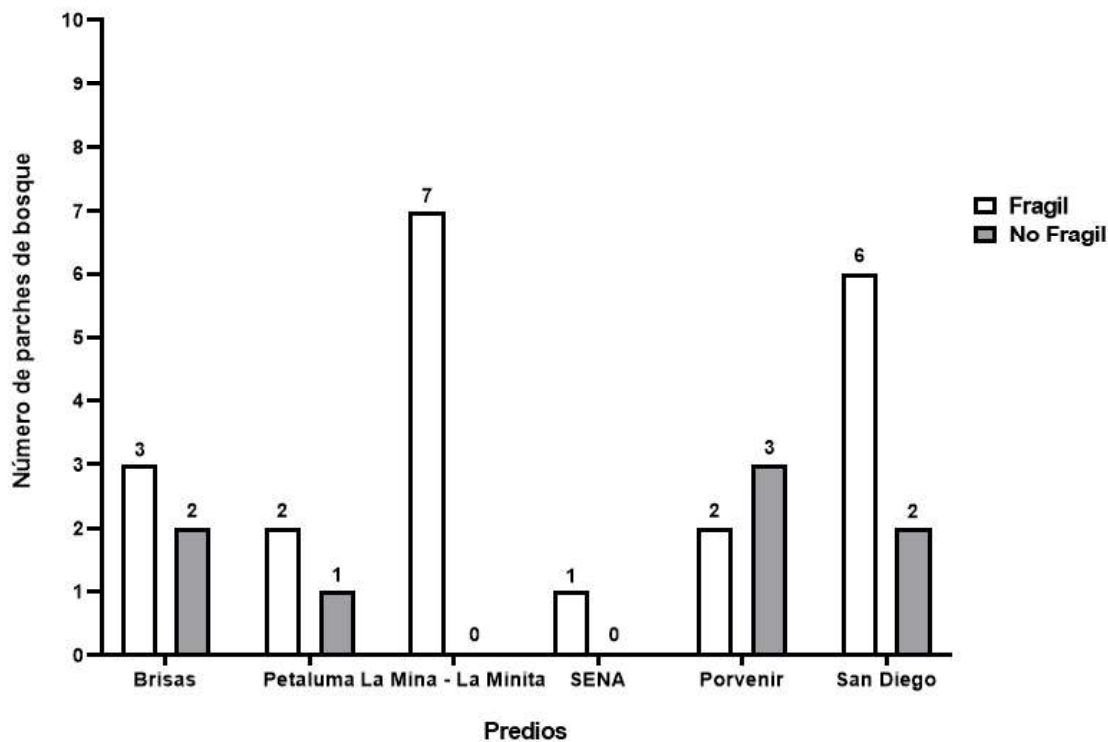
Figura 2. Planos de fragmentos de bosque de los predios A=Las brisas, B= Petaluma, C=La mina, D=SENA, E=Porvenir, F=San diego, G=Milán 2

Porcentaje de Forma de los parches de bosque por predio



Grafica 1. Porcentajes de forma de los parches de bosque por predio

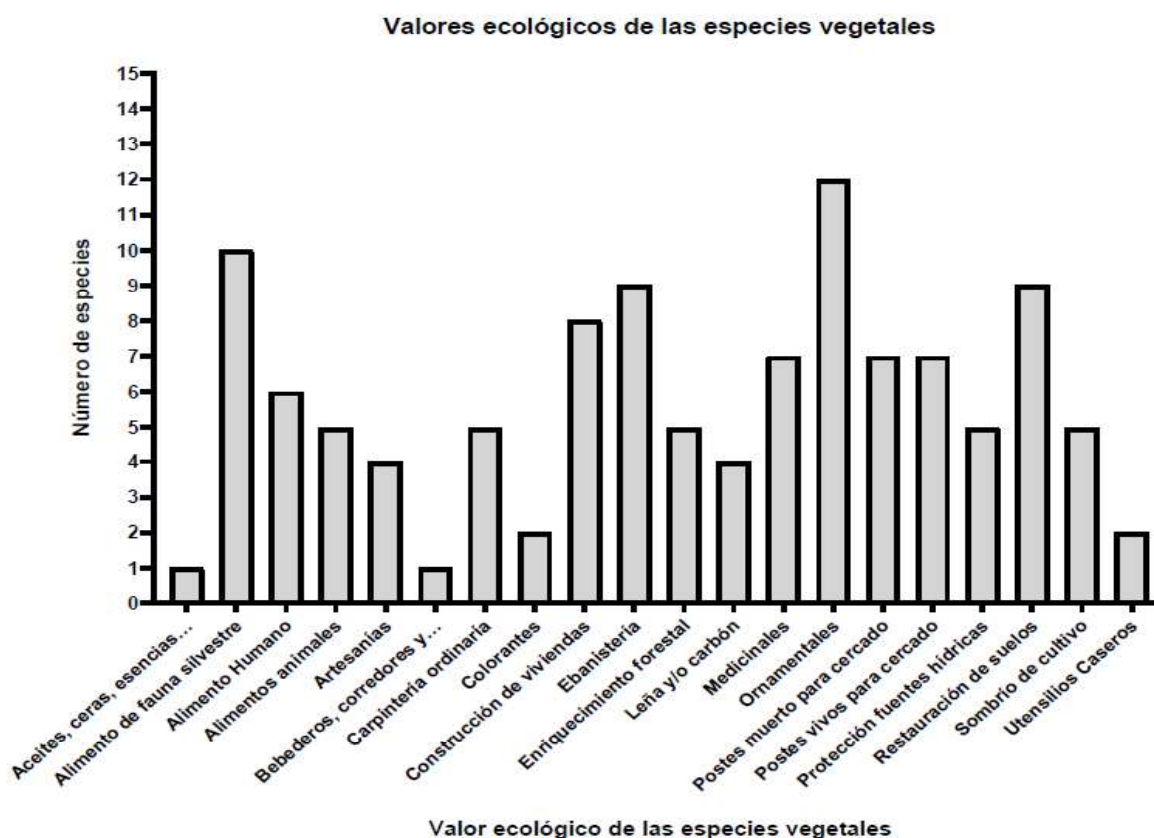
Porcentaje de Compactación de los parches de bosque por predio



Grafica 2. Porcentajes de compactación de los parches de bosque por predio

Análisis de valor de las especies de flora

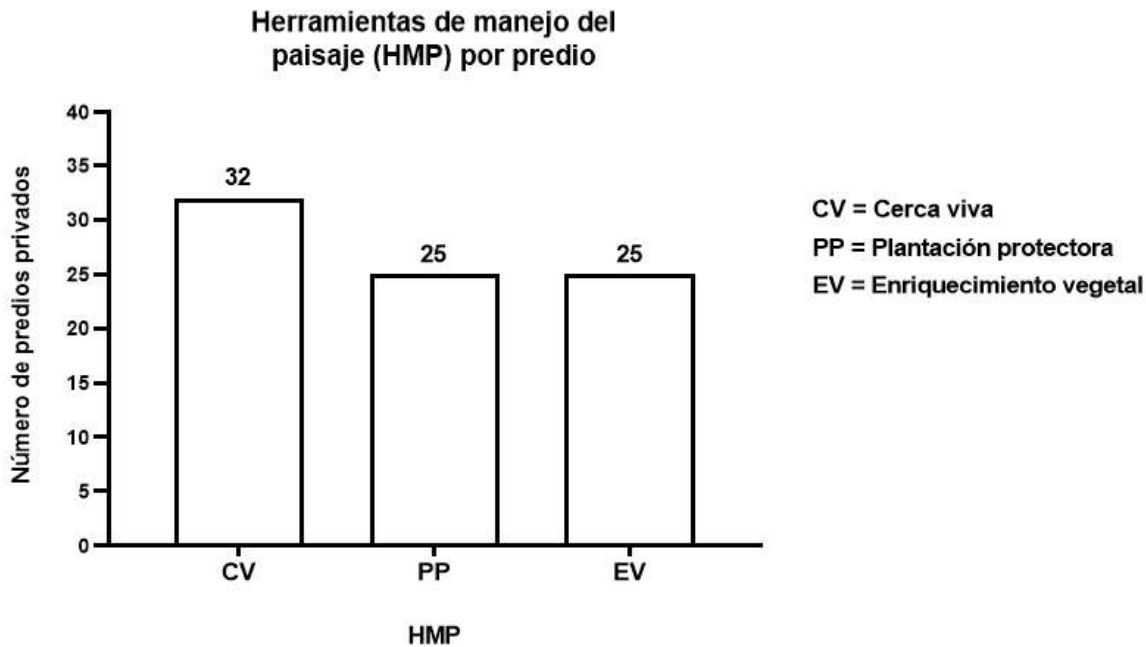
La implementación de procesos de compensación ambiental en las empresas Quindianas, en los últimos años ha estado enfocada en la siembra y reforestación de especies forestales nativas, en áreas de interés para la conservación del recurso hídrico, procesos que llevan casi una década realizándose, por ellos se realizó actividades de componentes encaminando a mejorar el manejo y conservación con Árboles nativos importantes para la conservación, se implementaron Herramientas de manejo del paisaje en predios privados en los municipios de Buenavista, Córdoba y Pijao teniendo como objetivo establecer el valor ecológico como: Alimento fauna silvestre, Alimento para humano, colorantes, medicinales, utensilios caseros, Restauración de suelos, artesanías, construcción de viviendas, ornamentales, postes muertos para cercados, alimentos animales domésticos, ebanistería, carpintería ordinaria, construcción de viviendas, bebedores corredores y pisos, postes vivos para cercados, Aceites, ceras, esencias, exudados, enriquecimiento forestal, protección fuentes hídricas, sombrío de cultivo, leña y/o carbón, con el valor ecológico anterior se pudo establecer que las ornamentales tienen más relevancia y se escogen Dos especies para representar en donde sobresalen Ornamentales Y Alimento fauna silvestre



Gráfica 3. Valor ecológico de las especies.

Por otro lado, las herramientas del manejo de paisaje (HMP) son elementos que se adicionan al paisaje o el manejo que se da a elementos existentes para aumentar la conectividad funcional del paisaje y proveer hábitat para la biodiversidad nativa. En otras palabras, las HMP se diseñan para aumentar la probabilidad de movimiento de las especies animales y vegetales a través del paisaje. (6)

Dado que la mayoría de las HMP se implementan en predios privados, se hizo necesario adelantar un proceso de concertación con los propietarios buscando fomentar o fortalecer comportamientos favorables para la conservación de la biodiversidad y el uso sostenible del territorio. La concertación de acciones de restauración se puede dar en el marco de la Planificación Predial, donde es importante el entendimiento de cómo encaja y aporta el predio, en términos de conectividad, biodiversidad y servicios ecosistémicos, a un ecosistema o territorio más amplio (visión del paisaje), para ello se implementaron HMP con cerca viva (CV), seguido por plantación protectora (PP) y enriquecimiento vegetal (EV)



Grafica 4. Herramientas de manejo del paisaje (HMP)

Discusión

Para la estimación del valor ecológico y de la implementación de herramientas de manejo del paisaje, en zonas rurales del departamento del Quindío, se empleó como referente los procesos de restauración del proyecto Quindío Sostenible de la Corporación Quindío Competitivo en los años (2017 al 2021) en donde se usó herramientas SIG, como tomas de drone de algunos de los predios trabajados en el proyecto.

En relación con el Índice de diversidad de forma de Patton, se encontró que solo un predio tenía parches redondos (San Diego), tres predios presentaron parches oval-redondo (Brisas, Petaluma y Porvenir), uno de presentó forma oval- oblonga (Milán 2), cuatro predios presentaron parches de forma rectangular (Brisas, la Mina - La Minita, Porvenir y San Diego), y todos los predios presentaron parches de bosque con forma irregular (**tabla 1**).

Tabla 1. Porcentaje de forma por predio

Predios	Porcentaje de Forma				
	Redondo	Oval-Redondo	Oval-Oblongo	Rectangular	Irregular
Brisas	0	40	0	20	40
Petaluma	0	33	0	0	67
La Mina - La Minita	0	0	0	29	71
SENA	0	0	0	0	100
Porvenir	0	20	40	20	20
San Diego	25	0	0	25	50

- Para el predio Las Brisas el índice de diversidad de Patton demostró que predominan los fragmentos de bosque de forma irregular y oval – redonda.
- Para el predio El SENA el índice de diversidad de Patton indicó que el único parche de bosque tiene forma irregular.
- Para el predio Petaluma y La Mina – La minita, la mayoría de los parches de bosque presentaron formas irregulares.
- Para el predio El Porvenir el parche predominante presentaba una forma Oval – Oblonga.
- El predio San Diego presento en igual porcentaje parches de bosque redondos y rectangular.

El índice de diversidad de Patton es uno de los métodos empleados para la evaluación de la fragmentación de los bosques, en donde teóricamente cuando este índice es uno, la forma de fragmento semeja a un círculo y a medida que este aumenta la forma se torna más compleja incrementando así el efecto de borde de las áreas circundantes o adyacentes, este efecto de borde hace referencia a las modificaciones en los procesos bióticos y físicos de un ecosistema que surgen producto de una transición abrupta en un área que anteriormente era homogénea.(7) con lo anterior se puede decir que los índices de forma de los fragmentos son de gran ayuda al momento de determinar las afectaciones que presenta un bosque por acción antrópica, de igual forma ayuda a generar estrategias para el manejo de estos paisajes fragmentados.

Respecto a índice de compactación se observó lo siguiente (**tabla 2**).

Tabla 2. Estado de Compactación de los parches de bosque por predio.

Predios	Estado de Compactación	
	Frágil	No Frágil
Brisas	3	2
Petaluma	2	1
La Mina - La Minita	7	0
SENA	1	0
Porvenir	2	3
San Diego	6	2

El índice de compactación indica el grado de fragilidad o exposición del fragmento a los efectos de la matriz, con valores que oscilan entre 0 y 1, siendo los frágiles los más cercanos o con valor igual a 0; y los más cercanos o con un valor igual a uno, los menos frágiles y compactos (7). Al sintetizar la información en la tabla 2 se pudo determinar que de los fragmentos analizados en los predios un total de 21 presentan fragilidad y el predio que mayores fragmentos débiles tiene es La Mina

Por otro lado, para el valor ecológico de las especies se ha venido implementando procesos de compensación ambiental en las empresas Quindianas, en los últimos años ha estado enfocada en la siembra y reforestación de especies forestales nativas, en áreas de interés para la conservación del recurso hídrico, trabajando en la conservación y recuperación de hectáreas de áreas de bosque incorporando la biodiversidad, en resultados favoreciendo la conservación de especies nativas en corredores de conservación.

Se iniciaron actividades para mejorar el manejo y conservación con Árboles nativos importantes para la conservación, se implementaron Herramientas de manejo del paisaje en predios privados en los municipios de Buenavista, Córdoba y Pijao teniendo como objetivo establecer el valor ecológico como los cuales: Alimento fauna silvestre, Alimento para humano, colorantes, medicinales, utensilios caseros, Restauración de suelos, artesanías, construcción de viviendas, ornamentales, postes muertos para cercados, alimentos animales domésticos, ebanistería, carpintería ordinaria, construcción de viviendas, bebedores corredores y pisos, postes vivos para cercados, Aceites, ceras, esencias, exudados, enriquecimiento forestal, protección fuentes hídricas, sombrío de cultivo, leña y/ o carbón.(8)

Con este valor ecológico (**grafica 3**), puede evidenciar que las ornamentales tienen más relevancia y se escogen dos especies para representar en donde sobresalen Ornamentales Y Alimento fauna silvestre. como por ejemplo *Erythrina crista-galli*. La familia Leguminosae es la tercera más diversa del mundo, la segunda más importante a nivel económico, una de las principales fuentes de alimento, madera, miel, resina, forraje y compuestos químicos, como ornamental. Adicionalmente, es una de las más importantes a nivel ecológico por su papel en la fijación de nitrógeno, seguido por alimento de fauna silvestre *Brownea ariza Benth*, esta especie es catalogada como pionera puesto que es importante en las etapas sucesiones tempranas, de modo que permita una revegetación de

áreas despobladas. Se establece rápidamente en orillas de ríos, arroyos, áreas de deslizamientos y superficies degradadas por desmonte o sobre pastoreo llegando a formar áreas boscosas secundarias de considerable extensión junto a otras especies, es una especie importante en los procesos de regeneración de los bosques, por lo que podría ser importante en programas de restauración de bosques nativos, asimismo, su capacidad de fijar nitrógeno de la atmósfera e incorporarlo en el suelo (9), promueve el establecimiento de otras especies y la protección de cuencas y microcuencas cumpliendo un papel fundamental de servicio ambiental como áreas de recarga de acuíferos fijación de carbono y en el sitio son pioneros en la regeneración de áreas degradadas.

La restauración de suelos y ebanistería como consecutivo tenemos a postes vivos para cercados y postes muertos para cercado, alimento humano finalmente en la gráfica se encuentran en escala construcción de viviendas, carpintería ordinaria, enriquecimiento forestal, protección fuentes hídricas, sombrío de cultivo, alimento doméstico, artesanías, leña y/o carbón, construcción de viviendas, colorantes, utensilios caseros, Bebedoros, corredores y pisos, Aceites, ceras, esencias, exudados

las HMP se diseñan para aumentar la probabilidad de movimiento de las especies animales y vegetales a través del paisaje, en donde la restauración se puede definir como una estrategia práctica de manejo que restablece los procesos ecológicos para mantener la composición, estructura y función del ecosistema en diferentes unidades de paisaje y a distintas escalas, mediante el desarrollo de estrategias participativas. La restauración es un proceso complejo, integral y cuyos objetivos se logran a mediano y largo plazo y su propósito va más allá de la simple revegetación o reforestación de áreas mediante plantaciones de especies arbóreas, para ello se implementaron HMP, observando que hubo mayor con cerca viva con 32, seguido por plantación protectora con 25 y enriquecimiento vegetal con 25 (**grafico 4**).

Conclusiones

1. El análisis del paisaje actualmente integra herramientas tecnológicas fundamentales. El uso de los SIG permite una gestión de información más sólida y precisa, facilitando la toma de decisiones y el entendimiento de procesos como la fragmentación y la conectividad ecológica. La escala del paisaje resulta determinante, pues condiciona tanto la cantidad de datos a procesar como la complejidad de las relaciones a analizar. De esta manera, elementos similares pueden adquirir significados distintos según la escala, influyendo en la composición, estructura y funcionalidad de los ecosistemas fragmentados. Esto incluye aspectos como el efecto de borde, que impacta directamente el funcionamiento de las cadenas tróficas y los flujos de energía y materia en los parches de bosque.
2. Las especies vegetales utilizadas corresponden en gran medida a especies nativas de interés para la conservación, las cuales desempeñan roles esenciales en los ecosistemas. Se identificó un mayor beneficio en especies nativas ornamentales, pero también en aquellas que aportan a la alimentación de aves, la restauración ecológica y la recuperación de fuentes hídricas. Es prioritario promover especies que fortalezcan procesos sucesionales robustos, aportando elementos clave al paisaje rural y contribuyendo a los ejes del proyecto de Conservación de la Corporación Quindío Competitivo, centrados en la conectividad ecológica y la recuperación hídrica. Asimismo, se requiere impulsar procesos de investigación que, además de los cálculos de huella de carbono, permitan determinar qué especies cumplen funciones estratégicas como sumideros de carbono, favoreciendo la captura de CO₂ atmosférico. Esto abre la posibilidad de implementar iniciativas de carbono neutral más sólidas, en línea con los esfuerzos que ya comienzan a consolidarse en la región del Eje Cafetero.

Referencias

1. Troll, C. (2003). Ecología del paisaje. *Gac. Ecol.*, (68), 71–84.
2. Vila Subirós J, Varga Linde, D., Llausas Pascual A., & Ribas Palom A. (2006). Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology): una interpretación desde la geografía. *Doc. Anal. Geogr.*, (48), 151–166.
3. WWF. (s. f.). Informe Planeta Vivo 2004. Panda.org. Recuperado el 9 de diciembre de 2023, de https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/informe_planeta_vivo_2004.pdf
4. Yoccoz, N.G., Nichols, J. D., & Boulinier, T. (2001). Monitoring of biological diversity in space and time. *Trends Ecol. Evol.*, 16(8), 446–453. [https://doi.org/10.1016/s0169-5347\(01\)02205-4](https://doi.org/10.1016/s0169-5347(01)02205-4)
5. Dauber, J., Hirsch, M., Simmering, D., Waldhardt, R., Otte, A., & Wolters, V. (2003). Landscape structure as an indicator of biodiversity: matrix effects on species richness. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 98(1–3), 321–329. [https://doi.org/10.1016/s0167-8809\(03\)00092-6](https://doi.org/10.1016/s0167-8809(03)00092-6)
6. Purtauf, T., Roschewitz, I., Dauber, J., Thies, C., Tschardtke, T., & Wolters, V. (2005). Landscape context of organic and conventional farms: influences on carabid beetle diversity. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 108(2), 165–174. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.01.005>
7. Botache, L. A. (2011). Estado de fragmentación de los bosques naturales en el norte. *Rev. UMBAGA*. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3944231.pdf>
8. Zaragoza-Esparza, J., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., López-López, C., García-Espinoza, J. C., Zamudio-González, et al. (2019). Rendimiento y calidad de forraje de híbridos de maíz en Valles Altos de México. *Rev. Mex. Cienc. Agric.*, 10(1), 101–111. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1403>
9. Pacheco-Agudo, E., & Quisbert-Guarachi, A. S. (2016). Modelos de aprovechamiento sostenible del aliso (*Alnus acuminata* Kunth) en zona de ladera de bosque de niebla. *J. Selva Andina Biosph.*, 4(1), 24–38. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2016.040100024>