Relación entre la estructura del paisaje y la provisión de servicios ecosistémicos bajo escenarios de cambio de uso del suelo

Jenyfer Carolina Gómez León, Hayde Yergeny Barón Alarcón

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Forestal

Director
Sandra Milena Díaz López
MSc. Manejo, Uso y Conservación del Bosque

Codirector
María Constanza Meza Elizalde
MSc. Manejo, Uso y Conservación del Bosque

Universidad Industrial de Santander
Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia -IPRED
Programa de Ingeniería Forestal
Bucaramanga
2020

Dedicatoria Jenyfer Carolina Gómez León

En primer lugar, al Todopoderoso, Dios padre amado, por otorgarme la vida y las facultades necesarias para cumplir esta meta.

Al motor de mi vida, *Diego Alejandro Garzón*. A ti hijo por llenarme siempre de amor por sobrellevar durante todo este proceso mis ausencias, por sacrificar nuestro tiempo para la realización de este proyecto y por entender los malestares y angustias que en muchas ocasiones me impidieron brindarte la atención y el cuidado que merecías.

Al amor de mi vida, *Diego Enrique Garzón*, por brindarme su apoyo y entregarme su amor, ese que me lleno de fortaleza en los momentos difíciles, de aliento cuando creía no tener salida y de felicidad en cada logro alcanzado.

A mi hermosa madre, *Luz Marina León*, por darme las alas que necesite para emprender este vuelo y sobrevolar conmigo durante todo el camino. A mi padre *Gonzalo Barajas*, por inculcarme desde niña la disciplina que me ayudó durante toda mi carrera. A mis hermanitos *Sebastián y Daniel Barajas*, por ser incondicionales conmigo y acudir de ser necesario al auxilio de su hermanita.

A mi grupo de amigos "*The Game of The Forest*" por acogerme y compartir conmigo momentos inolvidables, al "hermano" *Víctor Orjuela*, por hacerme creer en mí misma, a *Yeison Díaz* por estar presente durante este proceso, y muy especialmente a mi linda amiga y compañera de tesis, *Hayde Barón*, por brindarme desde el primer día su gran sonrisa y tolerancia, por no abandonarme en medio de la nada, cuando creíamos no tener futuro, y atreverse aventurar conmigo en busca del camino al éxito.

"Una etapa ha terminado, y ha llegado la hora de que empiece otra"
Richard Bach – Juan Salvador Gaviota

Dedicatoria Hayde Yergeny Barón Alarcón

Al Creador del universo por regalarme cada día de vida, la sabiduría y la paciencia para culminar este proyecto, a mi madre *Ana de Jesús Alarcón Ruiz*, por sus palabras de aliento y amor incondicional cuando ya la tranquilidad, la paz y la actitud positiva se perdían, a mi padre, *Pedro Ignacio Barón Mora*, por depositar su confianza en mí y su apoyo constante para mis actividades académicas.

Al Ingeniero *Oscar Pico*, por estar presente siempre en los momentos importantes de mi vida, dándome la energía y la fuerza para construir objetivos y metas claras. De igual manera, a mi familia escogida, *Víctor Alfonso Orjuela Márquez* por ser ese amigo ejemplar e incondicional y excelente compañero de aventuras y academia y *Yeison Alexander Díaz Gallo* por ser la Utopía de mi vida.

De igual manera, a mi compañera de trabajo de grado *Jenyfer Carolina Gómez*, por su disciplina, confianza, amistad y paciencia.

"Si sirves a la naturaleza, ella te servirá a ti"
Confucio

Agradecimientos

A la Universidad Industrial de Santander, sede Málaga, por acogernos y brindarnos los recursos físicos y humanos que hicieron posible nuestro proceso de formación.

A las docentes *Sandra Milena Díaz* y *María Constanza Meza*, por dirigir este proyecto y destinar parte de su tiempo, conocimiento y recursos en beneficio del mismo, también por confiar en nuestras capacidades, corregir nuestros errores e impulsarnos a mejorar día a día.

A nuestros jurados *Rubén Carvajal Caballero* y en especial a *Diego Suescún Carvajal* por los valiosos aportes que permitieron enriquecer este proyecto.

A las familias del municipio de El Colegio, Cundinamarca, por abrirnos las puertas de sus hogares y acoger con amor a este par de estudiantes.

A los docentes, amigos y demás compañeros que estuvieron presentes durante nuestro paso por la universidad y que de una u otra manera nos ayudaron a formarnos como personas y profesionales.

Tabla de Contenido

Introducción 13

1. Objetivos 15

1.1 Objetivo General 15

1.2 Objetivos Específicos 15

2. Marco referencial 16

2.1 Marco Teórico 16

2.2 Marco Conceptual 18

2.2.1 Paisaje…….. 18

2.2.2 Ecología del Paisaje 19

2.2.3 Métricas del Paisaje 19

2.2.4 Servicios Ecosistémicos 20

2.3 Antecedentes 22

2.4 Marco Legal 23

3. Metodología 25

3.1 Área de estudio 25

3.2 Cambios en la estructura del paisaje 26

3.2.1 Obtención y preprocesamiento de las imágenes 27

3.2.2 Clasificación de coberturas 28

3.2.3 Métricas del paisaje 33

3.3 Comportamiento de los servicios ecosistémicos 35

3.3.1 Trabajo de campo 35

3.3.2 Trabajo de oficina 37

3.4 Relación entre la estructura del paisaje y la provisión de servicios ecosistémicos 38

4. Resultados 41

4.1 Cambios en la estructura del paisaje 41

4.1.1 Clasificación de coberturas 41

4.1.2 Métricas del paisaje 43

4.1.3 Cambios en la estructura del paisaje 46

4.2 Comportamiento de los servicios ecosistémicos 50

4.2.1 Características de los finqueros 50

4.2.2 Percepción general de los servicios ecosistémicos 50

4.2.3 Percepción de los servicios ecosistémicos por categoría 52

4.2.4 Percepción de servicios ecosistémicos por subcategoría 54

4.2.5 Entre árboles y productores 58

4.2.6 Fertilidad y control de la erosión del suelo 60

4.2.7 El agua y los productores 61

4.2.8 Árbol de recorrido mínimo 61

4.2.9 Estado de conservación de los servicios ecosistémicos, clasificación por tipo 63

4.2.10 Valor de cambio de servicios ecosistémicos 66

4.3 Relación entre la estructura del paisaje y la provisión de servicios ecosistémicos 67

4.3.1 Capacidad de provisión de servicios por tipo de cobertura 67

4.3.2 Jerarquización de servicios 70

4.3.3 Provisión potencial de servicios 71

5. Discusión..... 73

6. Conclusiones 75

7. Recomendaciones..... 76

Referencias bibliográficas..... 77

Apéndices…“Los apéndices están adjuntos en el CD y puede visualizarlos en base de datos de la biblioteca UIS”

Lista de Tablas

Tabla 1. Descripción de los servicios ecosistémicos. 21
Tabla 2. Descripción aspectos generales área de estudio 26
Tabla 3. Descripción productos Landsat 27
Tabla 4. Rangos índice NDVI 29
Tabla 5. Unidades de cobertura nivel 3 presentes en el área de estudio 30
Tabla 6. Homologación de coberturas 31
Tabla 7. Índice Kappa 32
Tabla 8. Métricas del paisaje 33
Tabla 9. Escala grado de importancia 39
Tabla 10. Matriz de confusión y resultado de coeficiente Kappa 43
Tabla 11. Subcategoría de servicios ecosistémicos percibidos por la comunidad 54
Tabla 12. Valor de cambio por tipo de servicios ecosistémicos 67
Tabla 13. Matriz valor de capacidad de provisión de servicios por tipo de cobertura 68
Tabla 14. Jerarquización de servicios 70
Tabla 15. Provisión potencial de servicios ecosistémicos por unidad de cobertura 72
Tabla 16. Escala para valorar capacidad de prestación del servicio 72

Lista de Figuras

Figura 1. Mapa ubicación área de estudio 25

Figura 2. Mapas de coberturas de los tres periodos de estudio para el municipio de El Colegio, Cundinamarca 42

Figura 3. Porcentaje de ocupación de cada unidad de cobertura en cada periodo estudiado 46

Figura 4. Índice de parche más grande (LPI) a nivel de clase para cada periodo estudiado 47

Figura 5. Número de parches (NP) y área de clase (CA) para cada unidad de cobertura..... 48

Figura 6. Número de parches e índice de agregación para cada unidad de cobertura en cada periodo estudiado. 49

Figura 7. Percepción general de los servicios ecosistémicos: caracterización por tipo..... 50

Figura 8. Productores y tipos de servicios ecosistémicos: comparación entre cada finca y el tipo de servicio ecosistémico. 51

Figura 9. Percepción de los servicios culturales por categoría 52

Figura 10. Percepción de los servicios de provisión por categoría..... 53

Figura 11. Percepción de servicios de regulación por categoría..... 53

Figura 12. Nombre local de los servicios ecosistémicos y cantidad de fincas que los proveen ... 56

Figura 13. Percepción por tipos de uso de la subcategoría agricultura..... 57

Figura 14. Percepción por tipos de uso de la subcategoría madera. 57

Figura 15. Percepción por tipos de uso de las subcategorías sentimientos de admiración por la naturaleza y meditación. 58

Figura 16. Servicios ecosistémicos que ofrecen los árboles para el bienestar del productor. 59

Figura 17. Fertilidad y regulación de la erosión 60

Figura 18. Categoría agua potable 61

Figura 19. Árbol de recorrido mínimo..... 63

Figura 20. Conservación de los servicios ecosistémicos de provisión 64

Figura 21. Conservación de los servicios ecosistémicos de regulación..... 65

Figura 22. Conservación de los servicios ecosistémicos culturales..... 66

Resumen

Título: Relación entre la estructura del paisaje y la provisión de servicios ecosistémicos bajo escenarios de cambio de uso del suelo[1].

Autores: Jenyfer Carolina Gómez León, Hayde Yergeny Barón Alarcón[2].

Palabras clave: Productor**,** imágenes satelitales, métricas del paisaje, análisis multicriterio, conservación.

Descripción:

En el último siglo, los cambios del uso del suelo producto de las actividades humanas han tenido impactos significativos en la estructura de los paisajes en todo el planeta. La expansión de la frontera agrícola y pecuaria ha comprometido el funcionamiento de los ecosistemas y su capacidad para proveer servicios ecosistémicos esenciales para el bienestar humano. Por esta razón, se evaluó la relación entre la estructura del paisaje y la provisión de servicios ecosistémicos en fincas de pequeños productores de El Colegio, Cundinamarca, Colombia. La información se recolectó mediante entrevistas semiestructuradas que proporcionaron datos cualitativos sobre las percepciones que tiene dichos actores de su territorio (muestra 19 productores). Así mismo, los cambios en el paisaje se determinaron mediante un análisis de la estructura en tres periodos de tiempo, con ayuda de imágenes satelitales Landsat 5 y 8. Por último, se evaluaron los servicios y su comportamiento a través de la percepción de los productores, mediante la herramienta de análisis multicriterio. Con lo anterior, se obtuvo que para el periodo 1991 y 2015 el bosque pasó de cubrir el 55% a sólo el 2% del municipio, siendo la cobertura con la mayor capacidad para proporcionar servicios de regulación. Además, se evidenció un incremento en las áreas de cultivos, estas pasaron de ocupar el 27% al 62% del territorio. Por otro lado, se observó que el 49% de los productores perciben los servicios de regulación, sin embargo, sólo el 36% realizan actividades para conservarlos. De igual manera, se resaltó la importancia de los servicios de regulación del clima y del agua como también de provisión de alimentos. Como conclusión, se determinó que los servicios ecosistémicos se ven afectados negativamente por los procesos de cambio en la estructura del paisaje, entender esto, ayudará a promover estrategias para la conservación de los ecosistemas naturales.

---

[1] Trabajo de Grado

[2] Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia-IPRED. Programa de Ingeniería Forestal. Directora: Díaz López, Sandra Milena. MSc. Manejo, Uso y Conservación del Bosque. Codirectora: Meza Elizalde, María Constanza. MSc. Manejo, Uso y Conservación del Bosque.

Abstract

Title: Relationship between landscape structure and the provision of ecosystem services under land use change scenarios [3].

Authors: Jenyfer Carolina Gómez León, Hayde Yergeny Barón Alarcón [4].

Key words: Producer, farm, satellite images, landscape metrics, multicriteria analysis, conservation

Description:

In the last century, changes in land use resulting from human activities have had significant impacts on the structure of landscapes throughout the planet. The expansion of the agricultural and livestock frontier has compromised the functioning of ecosystems and their ability to provide essential ecosystem services for human well-being. For this reason, the relationship between landscape structure and the provision of ecosystem services on farms of small producers in El Colegio, Cundinamarca, Colombia was evaluated. The information was collected through semi-structured interviews that provided qualitative data on the perceptions of these actors in their territory (shows 19 producers). Likewise, the changes in the landscape were determined by an analysis of the structure in three periods of time, with the help of Landsat 5 and 8 satellite images. Finally, the services and their behavior were evaluated through the perception of the producers, using the multicriteria analysis tool. With this, it was obtained that for the period 1991 and 2015 the forest went from covering 55% to only 2% of the municipality, being the coverage with the greatest capacity to provide regulatory services. In addition, there was an increase in crop areas, these went from occupying 27% to 62% of the territory. On the other hand, it was observed that 49% of the producers receive the regulation services, however, only 36% carry out activities to conserve them. Similarly, the importance of climate and water regulation services as well as food supply was highlighted. In conclusion, it was determined that ecosystem services are negatively affected by processes of change in landscape structure. Understanding this helps to promote strategies for the conservation of natural ecosystems.

[3] Bachelor thesis

[4] Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia-IPRED. Programa de Ingeniería Forestal. Directora: Díaz López, Sandra Milena. MSc. Manejo, Uso y Conservación del Bosque. Codirectora: Meza Elizalde, María Constanza. MSc. Manejo, Uso y Conservación del Bosque.

Introducción

En el último siglo los cambios en el uso del suelo producto de las actividades humanas han tenido impactos significativos en la estructura de los paisajes en todo el planeta (Ramírez & López, 2016). La expansión de la frontera agrícola y pecuaria ha comprometido el funcionamiento de los ecosistemas y su capacidad para proveer servicios esenciales para el bienestar humano (Balthazar, Vanacker, Molina, & Lambin, 2015). Si bien, el afán por aumentar la producción de alimentos es cada día mayor (Foley et al., 2005) los medios usados para lograr dicho objetivo afectan la supervivencia de millones de personas a nivel mundial (Tolessa, Senbeta, & Kidane, 2017).

Generalmente, en regiones tropicales lo que impulsa la deforestación es la adecuación de tierras para el establecimiento de cultivos, estudios demuestran que entre 1980 y 1990 más de 100 millones de hectáreas de tierras agrícolas crecieron en zonas tropicales a expensas del bosque (Gibbs et al., 2010).

Para el caso de Colombia, la mayor transformación en el paisaje se da en zonas ubicadas en un gradiente altitudinal entre los 500 y 3000 msnm (Sánchez, Ulloa, & Almonacid, 2012), donde la agricultura es considerada una de las principales actividades económicas (Andrade C., Segura M, & Sierra R., 2017). Ésta es desarrollada generalmente por pequeños productores en fincas de carácter familiar (Collazos Silva, 2018), donde el monocultivo es la forma de explotación más utilizada (Valle Oña, 2018). En este sentido, el municipio de El Colegio Cundinamarca no es la excepción, de hecho la mayoría de áreas agrícolas

encontradas en la actualidad deben su establecimiento a la tala de grandes extensiones de bosque que ocupaban este territorio (Grajales & Guerrero, 1999).

Dicha práctica acelera la pérdida de ecosistemas naturales, lo que implica cambios en la estructura del paisaje (Sanchez & Solís, 2016) y pone en riesgo la conservación de la biodiversidad, reduce la producción de bienes y servicios ambientales y disminuye la productividad de tierras agrícolas. Es así, que el estudio de la estructura del paisaje en múltiples escalas de tiempo sirve como *proxy* para evaluar los cambios en la oferta de servicios ecosistémicos (Burkhard, Kroll, Müller, & Windhorst, 2009) y su relación con el bienestar humano.

Sin embargo, los conocimientos de la estructura del paisaje por sí solos no bastan para confirmar los servicios ecosistémicos de un área (Meza & Armenteras, 2018), es indispensable entender cómo los diferentes actores perciben, valoran y usan los servicios (Quétier, Tapella, Conti, Caceres, & Diaz, 2007). En este contexto se hace cada vez más importante realizar estudios integrales de valoración de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos (Rincón, Echeverry, Piñeros, Tapia, David, et al., 2014), que incluyan el componente social como una herramienta que permita analizar las relaciones entre la dinámica de transformación del paisaje y los procesos subyacentes que conducen al cambio (Vieira & Castillo, 2010).

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar la relación entre los cambios de la estructura del paisaje y la provisión de servicios ecosistémicos para el municipio de El Colegio, Cundinamarca, Colombia.

1.2 Objetivos Específicos

Determinar los cambios en la estructura del paisaje en el municipio de El Colegio, Cundinamarca.

Identificar, desde el conocimiento de pequeños productores, la percepción actual y el comportamiento de los servicios ecosistémicos para un periodo de 30 años.

Analizar la relación existente entre la estructura del paisaje y la provisión de servicios ecosistémicos.

2. Marco Referencial

2.1 Marco Teórico

Los ecosistemas y las poblaciones humanas se relacionan constantemente: por un lado, las prácticas productivas que realizan los seres humanos transforman periódicamente los ecosistemas naturales y, por el otro, los cambios en los ecosistemas provocan alteraciones en los distintos componentes del bienestar humano. Es entonces, que las interacciones entre ecosistemas y población humana se miden directamente mediante la oferta de los servicios ecosistémicos (A. M. Navarro, 2012)

En ese sentido, es importante entender la trascendencia del término: "servicios ecosistémicos". En primer lugar, el movimiento ambientalista de 1960 y 1970, donde, científicos de la época y algunos colectivos sociales y políticos se interesaron por conocer el papel que juegan los ecosistemas para el bienestar humano (Daily, 1997). Ellos denunciaron el daño al medio ambiente por contaminación y deforestación como también, las alteraciones en el cambio del clima (Camacho & Ruíz, 2011)

Unos años más tarde, con la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (EEM), se hicieron visibles las relaciones complejas existentes entre la conservación de los ecosistemas y el bienestar humano (Montes et al., 2011); enfocándose principalmente en los servicios de los ecosistemas.

De igual manera, la EEM resaltó las graves consecuencias que tiene para la humanidad el continuo deterioro de los ecosistemas y aportaron ciertas bases metodológicas para estudiar los

servicios ecosistémicos (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Por otro lado, la academia ha desarrollado gran cantidad de literatura científica que ha contribuido en el estudio de la valoración de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (Martín & Montes, 2011) Así mismo, con la creación del Panel Intergubernamental de la Biodiversidad y de los Servicios Ecosistémicos se articuló información para los diferentes procesos en la toma de decisiones (Rincón, Echeverry, Piñeros, Tapia, Drews, et al., 2014).

De hecho, en Colombia se han desarrollado una serie de elementos e instrumentos técnicos y políticos que buscan dar respuesta a las necesidades del territorio nacional (Rincón, Echeverry, Piñeros, Tapia, Drews, et al., 2014). Sin embargo, se tiene que reconocer que la nación tiene múltiples ambientes, realidades y diversidad de actores locales, de igual manera, se vincula el conflicto de valores e intereses que exige abordar el tema del país desde una perspectiva compleja, que reconozca cada una de las diferencias y múltiples lenguajes de valoración (Carrizosa, 2003).

Bajo esta perspectiva, se desarrolla la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE), la cual presenta una mirada del territorio desde un enfoque socioecológico (MADS, 2012). En el mismo sentido, esta política valora el uso del suelo y su influencia en las propiedades, procesos y componentes del sistema ecológico con base en la provisión de servicios ecosistémicos (Rincón, Echeverry, Piñeros, Tapia, Drews et al., 2014). Esta política también, mide el territorio en escalas temporales y espaciales para predecir las valoraciones y demandas de servicios ecosistémicos que ofrece una extensión de tierra al cambiar el tiempo (Müller, de Groot, & Willemen, 2010). En consecuencia, se desarrolla la propuesta conceptual y metodológica denominada Valoración Integral de la Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (VIBSE), enmarcada en los principios

orientadores de la PNGIBSE. La VIBSE pretende reconocer el territorio a través de la integración funcional de valores posibles asociados a la biodiversidad y servicios ecosistémicos y la identificación de las diferentes asimetrías o trade-offs dados entre los actores sociales y su medio de subsistencia (Rincón, Echeverry, Piñeros, Tapia, Drews et al., 2014).

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Paisaje. Se denomina paisaje a una porción heterogénea de la superficie terrestre, compuesta por una serie de elementos espaciales (Etter, 1990), en la cual ocurren procesos naturales y antrópicos en los que el hombre interviene como el principal agente transformador (Armenteras & Vargas, 2016).

Un elemento del paisaje es una fracción homogénea del espacio geográfico semejante al concepto de ecosistema, que puede variar en el tiempo y el espacio dependiendo de la interacción entre factores bióticos y abióticos, dichos elementos pueden ser de tres tipos (Etter, 1990):

- **Matriz:** cobertura que ocupa la mayor área y conectividad dentro de un paisaje.
- **Parche:** superficie de distribución no lineal y tamaño variable, que difiere fisionómicamente de sus alrededores y que posee un grado de homogeneidad interno.
- **Corredor:** franja angosta y alargada, de forma y dirección variable que atraviesa una matriz.

El estudio del paisaje se realiza enfocándose en alguno de estos tres aspectos (Etter, 1990):

- **Estructura:** está dada por la composición y configuración de los elementos que integran un paisaje, es decir, el tipo de unidades o ecosistemas que existen en un área y como se distribuyen espacialmente.

- **Funcionamiento:** analiza la interacción entre los factores formadores del paisaje y los elementos que lo componen.
- **Temporalidad:** se refiere a los patrones y dinámicas de cambio que se dan en la estructura y el funcionamiento del paisaje a través del tiempo.

2.2.2 Ecología del Paisaje. El término "Ecología del paisaje" apareció por primera vez en el año 1938, cuando Carl Troll lo introdujo en estudios relacionados con interpretación científica de la fotografía aérea (Mashini & Bannen, 2014), dichos estudios permitían obtener información del terreno, como uso del suelo y demás condiciones de un lugar (Troll, 2003), lo cual facilitó, la comprensión del paisaje geográfico y sus componentes ecológicos (Sacristán, 2006).

Esta disciplina estudia las interacciones dadas entre el patrón espacial (estructura) y los procesos ecológicos de un paisaje, dicho de otra forma, busca conocer las causas y consecuencias que tiene la heterogeneidad espacial en los procesos ecológicos ocurridos a diferentes escalas (Turner & Gardner, 2015).

2.2.3 Métricas del Paisaje. Conjunto de medidas cuantitativas que aportan información de la proporción, forma, tamaño, elongación y distribución de los elementos que componen un paisaje (Aguilera, 2010).

2.2.4 Servicios Ecosistémicos. El concepto de servicios ecosistémicos surge de la necesidad de enfatizar en la estrecha relación existente entre los ecosistemas y el bienestar humano (Balvanera & Cotler, 2007). Por lo tanto, se definen como los bienes y servicios que la naturaleza ofrece para el bienestar humano. (De Groot, Wilson, & Boumans, 2002), donde, los bienes son los productos tangibles y los servicios representan los beneficios no materiales(Martín & Montes, 2011). Según (Millennium Ecosystem Assessment (2005) se clasifican en tres categorías, servicios de provisión que incluyen los bienes, servicios regulación y culturares. Existe otro tipo de servicios denominados de soporte; pero estos se consideran intermedios, ya que son la base para que existan los servicios ecosistémicos (Rincón, Echeverry, Piñeros, Tapia, Drews, et al., 2014). A continuación se presentan los cuatro tipos se servicios ecosistémicos.

- **Servicios de provisión**: representan los bienes, es decir los productos obtenidos de los ecosistemas (alimentos, agua dulce, leña, fibras, bioquímicos, recursos genéticos).
- **Servicios de regulación**: beneficios obtenidos de la regulación de procesos de los ecosistemas (regulación del clima, regulación de plagas y enfermedades, regulación y saneamiento del agua, polinización).
- **Servicios culturales:** beneficios no materiales obtenidos de los ecosistemas (espiritual y religioso, recreativo y turístico, inspirativo, educativo, identidad de sitio, herencia cultural).
- **Servicios de soporte**: servicios necesarios para la producción de otros servicios de los ecosistemas (formación de los suelos, reciclaje de nutrientes y producción primaria).Cada uno de los bienes y servicios ecosistémicos presenta una definición específica, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1.
Descripción de los servicios ecosistémicos

Provisión	**Descripción**
Alimento	Productos derivados de la biodiversidad y su gestión de interés alimentario.
Agua dulce	Agua dulce-potable de calidad para consumo humano y agrícola.
Materias primas de origen biótico	Materiales procedentes de la producción biológica /mineral usados como bienes de consumo
Regulación	**Descripción**
Regulación del clima	Capacidad de la cubierta vegetal y del suelo de absorber CO_2 y de regulación termo-pluviométrica.
Purificación del aire	Capacidad de la cubierta vegetal y del suelo de retener gases o partículas contaminantes del aire.
Regulación hídrica y depuración del agua	Capacidad de ralentización hídrica, de control de riadas, así como de depuración del agua.
Control de la erosión	Control de la erosión y desertificación por parte del componente biótico del suelo, así como de la vegetación.
Fertilidad del suelo	Mantenimiento de la humedad y de los nutrientes en el suelo que permite la preservación de la materia orgánica y el humus.
Control biológico	Capacidad de regulación de plagas y vectores patógenos de humanos, cosechas y ganado.
Polinización	Polinización por parte de insectos, aves u otros organismos de cultivos agrícolas y de plantas aromáticas o medicinales.
Culturales	**Descripción**
Educación ambiental	Sensibilización, concienciación, o formación sobre el papel de los ecosistemas y la biodiversidad como suministradores de servicios.
Conocimiento científico	Los ecosistemas y la biodiversidad que éstos albergan son un laboratorio de experimentación y de desarrollo del conocimiento.
Conocimiento ecológico local	Conocimiento experiencial de base empírica transmitidos generacionalmente y relacionados con las prácticas, creencias, costumbres y valores.
Identidad cultural y sentido de pertenencia	Sentimiento de lugar de las poblaciones humanas asociados con los ecosistemas y la biodiversidad en un

	lugar determinado.
Culturales	**Descripción**
Disfrute espiritual	Apreciación de especies, paisajes y/o lugares determinados que generan satisfacción por su inspiración espiritual.
Disfrute estético	Apreciación de especies y/o paisajes que generan satisfacción y placidez por su estética.

Nota: Descripción de los servicios ecosistémicos según la Evaluación de Ecosistemas del Milenio. Adaptada de Montes, C., Santos, F., Aguado, M., Martín, B., González, J., Benayas, J., … Díaz, F. (2011). *Ecosistemas y biodiversidad para el bienestar humano Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España: Síntesis de Resultados*. Recuperado de. https://doi.org/10.13140 / 2.1.2799.9362.

2.3 Antecedentes

Actualmente, los estudios que vinculan el análisis espacial de los cambios en el paisaje están enfocándose, principalmente, en cómo manejar paisajes para conservar la biodiversidad y asegurar la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos (Armenteras & Vargas, 2016).

Rincon, Lara, Castro, & Rojas (2016), analizaron mediante procesos de construcción y participación comunitaria, las implicaciones que tiene la transformación del territorio sobre el suministro de servicios ecosistémicos.

Desde una perspectiva más integral, Andrade et al. (2017) estudiaron la oferta se servicios ecosistémicos, desde la percepción de productores agrícolas y pecuarios, en una zona de alta influencia antrópica al norte del departamento del Tolima, Colombia.

Del mismo modo, Rojas (2018), identificó a partir de percepción de actores locales, la provisión potencial de servicios ecosistémicos en diferentes coberturas terrestres, mediante la incorporación del análisis espacial multicriterio.

El estudio realizado por Moyano (2016), buscó entender las percepciones de los diferentes actores sociales sobre los servicios ecosistémicos en el municipio de Villavicencio, Meta, donde se utilizaron los valores asociados a los mismos para analizar su importancia y disminución.

Por otro lado, Vilardy, Martín, Oteros, & Montes (2012), identificaron los servicios ecosistémicos, las tendencias de cambio y la forma de valorarlos en la Reserva de la Biósfera Ciénaga Grande de Santa Martha, mediante la percepción de los diferentes actores.

De igual manera, Navarro (2012) analizó y el aporte que las fincas integrales realizan a la conservación de servicios ecosistémicos y al mejoramiento de la calidad de vida de las familias que dependen de ellas. En su estudio se aplicaron entrevistas semiestructuradas y protocolos de observación participante, se trabajó con grupos focales y se realizaron recorridos en campo.

2.4 Marco Legal

El tema del paisaje y su ordenamiento en Colombia se encuentran acogidos bajo las siguientes leyes:

- **Decreto 2811 de 1974, Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente:** presenta el paisaje como un objeto de regulación y de protección ambiental, mencionado en varios de sus artículos:

- Artículo 3: en la sección “a” numeral 10, el paisaje aparece como objeto de protección (MAVDT, 1974), si bien en este artículo la norma habla de la protección de los recursos naturales renovables, el paisaje, queda englobado dentro de esta protección, es decir se reconoce el paisaje como recurso natural renovable (Vásquez Santamaría, 2015).

- Artículo 2: propone lograr la preservación y restauración del ambiente y la conservación, mejoramiento y utilización racional de los recursos naturales renovables (MAVDT, 1974), entre ellos el paisaje.
- Artículo 8: lo concibe como un objeto de amparo ante la actividad humana, pues su alteración perjudicial o antiestética se catalogan como una modalidad de deterioro ambiental (Vásquez Santamaría, 2015).

- **Ley 99 de 1993:** en el artículo 1 numera ocho, el paisaje es reconocido como principio general de la política nacional ambiental (Vásquez Santamaría, 2015), que por ser patrimonio común deberá ser protegido (Ministerio del Medio Ambiente, 1993).
- **Ley 388 de 1997:** el paisaje encuentra lugar como materia de la planeación del ordenamiento territorial municipal, distrital y metropolitana (Vásquez Santamaría, 2015).
- **Decreto 2372 de 2010**: el articulo 2 literal m, define el paisaje como "nivel de la biodiversidad que expresa la interacción de los factores formadores (biofísicos y antropogénicos) de un territorio" (MAVDT, 2010), única disposición normativa identificada que define la categoría del paisaje en el ordenamiento jurídico (Vásquez Santamaría, 2015).
- **Política para la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos:** promueve la gestión integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, con el fin de mantener y mejorar la resiliencia de los sistemas socioecologicos, a diferentes escalas, mediante la acción conjunta y coordinada del estado, los sectores productivos y la sociedad civil (MADS, 2012).

3. Metodología

3.1 Área de estudio

El municipio de El Colegio se encuentra ubicado en el departamento de Cundinamarca, provincia del Tequendama, sobre el margen izquierdo del Río Bogotá, a 61 km de la capital del país. Al norte limita con los municipios de la Mesa y Tena, al sur con el municipio de Viotá, al oriente con los municipios de San Antonio del Tequendama y Granada y al Occidente con los municipios de Anapoima y la Mesa (Navarro & Villamil, 2016). En la Figura 1 se presenta el mapa con la ubicación del área de estudio y en la Tabla 2 se describen los aspectos generales del territorio.

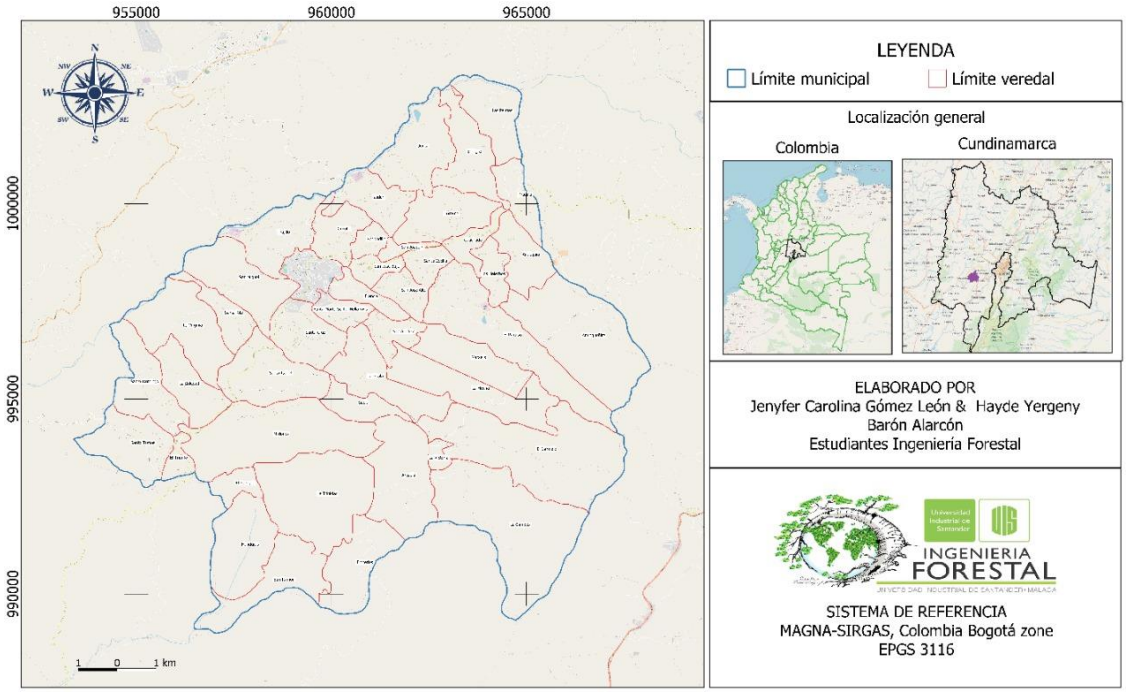

Figura 1. Mapa ubicación área de estudio

Según datos del Tercer Censo Nacional Agropecuario, el 77.48% del territorio está destinado a actividades agropecuarias, un 14.42% se encuentra ocupado por bosque, un 4.95% se emplea para actividades no agropecuarias y el 3.15% restante como áreas de otros usos (DANE, 2019).

Tabla 2
Descripción aspectos generales área de estudio

Aspecto	Descripción
Altitud	Oscila entre los 650 y 2.861 msnm
Temperatura media anual	12 – 24 °C
Humedad relativa (%)	30% en verano 85% en invierno
Precipitación media anual	Oscila entre los 1.000 y 4.000 mm promedio anual
Relieve	De terreno plano a terreno quebrado, es decir con pendientes que van de 0 al 25%
Coordenadas de la cabecera municipal	Latitud: 4° 35’ 05” N Longitud: 74° 56’ 00” O

Nota: Aspectos generales del Municipio de El Colegio Cundinamarca. Adaptado de Grajales, A., & Guerrero, Y. (1999). *Esquema de ordenamiento territorial urbano para el municipio de El Colegio,Cundinamarca*. Recuperado de http://elcolegiocundinamarca.micolombiadigital.gov.co/sites/elcolegiocundinamarca/content/files/000088/4356_pdm-para-el-concejo--definitivo-31-mayo.pdf

3.2 Cambios en la estructura del paisaje

Para abordar este objetivo, se realizó en primera instancia, la clasificación de coberturas del área de estudio para tres fechas específicas. Luego, a partir de esta información, se calcularon para cada año un conjunto de métricas a nivel de paisaje y de clase. Finalmente, con esta información se efectuó un análisis cualitativo de los resultados, en el cual se describieron los cambios que, a percepción de los autores, causaron más impacto en el paisaje del municipio.

3.2.1 Obtención y preprocesamiento de las imágenes. Las imágenes objeto de análisis corresponden a imágenes satelitales Landsat 5 Thematic Mapper (TM) y Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) (Tabla 3) descargadas del servidor gratuito "Earth explorer" propiedad del Servicio Geológico de los Estados Unidos (United Stated Geological Survey o USGS, por sus siglas en inglés).

Tabla 3.
Descripción productos Landsat

Misión Landsat	Nombre de banda	Longitud de onda (µm)	Resolución (m)
Landsat 5 Thematic Mapper (TM)	Banda 1: Azul	0,45 – 0,52	**30**
	Banda 2: Verde	0,52 – 0,60	**30**
	Banda 3: Rojo	0,63 – 0,69	**30**
	Banda 4: Infrarrojo cercano (NIR)	0,76 – 0,90	**30**
	Banda 5: Infrarrojo medio (SWIR)	1,55 – 1,75	**30**
	Banda 6: Térmico	10,40 – 12,50	**120**
	Banda 7: Infrarrojo medio (SWIR)	2,08 – 2,35	**30**
Landsat 8 Operational Land Imager (OLI)	Banda 1: Costeros y aerosol	0,43 – 0,45	**30**
	Banda 2: Azul	0,45 – 0,51	**30**
	Banda 3: Verde	0,53 – 0,59	**30**
	Banda 4: Rojo	0,64 – 0,67	**30**
	Banda 5: Infrarrojo cercano (NIR)	0,85 – 0,88	**30**
	Banda 6: SWIR 1	1,57 – 1,65	**30**
	Banda 7: SWIR 2	2,11 – 2,29	**30**
	Banda 8: Pancromática	0,50 – 0,68	**15**
	Banda 9: Cirros	1,36 – 1,38	**30**
	Banda 10: Infrarrojo térmico, TIRS 1	10,60 – 11,19	**100**
	Banda 11: Infrarrojo térmico, TIRS 2	11,50 – 12,51	**100**

Nota: Descripción productos Landsat. Adaptado de Servicio Geológico de Estados Unidos. (s/f-a). *Misiones Landsat: Landsat 5.* Estados Unidos.: USGS. Recuperado el 10 de noviembre de 2019, de https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-5?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con; Servicio Geológico de Estados Unidos. (s/f-b). M*isiones Landsat: Landsat 8*. Estados Unidos:. USGS. Recuperado el 10 de noviembre de 2019, de https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con

El tratamiento de dichas imágenes se efectuó en software libre “QGIS Madeira 3.4” e “Impact Tollbox 4.8.1 beta”. Como primera medida las imágenes fueron importadas a QGIS, para su respectiva corrección atmosférica, mediante el complemento “Semi-Automatic Classification Plugin - SCP” y posterior georreferenciación. Seguidamente se procedió a crear una máscara que encerró la cobertura de nubes de todas las fotografías y sirvió como base para restar, al área del municipio, las zonas que por efecto de las nubes se encontraron sin información. Para esta labor se utilizó el complemento “Cloud masking” de QGIS el cual permitió enmascarar nubes, sombras de nubes, cirros y aerosoles para productos Landsat 4, 5, 7 y 8 (Corredor, s/f-b).

3.2.2 Clasificación de coberturas. La clasificación de coberturas se efectuó para el periodo comprendido entre los años 1991 y 2015, donde, se utilizaron imágenes satelitales Landsat 5 para los años 1991 y 1998 y Landsat 8 para el año 2015. Debido a que la nubosidad es una condición recurrente en la zona de estudio, no fue posible encontrar imágenes que cumplieran con bajos porcentajes de nubes dentro de intervalos de tiempo iguales, por esta razón se tomaron como referentes las imágenes con menor cubrimiento de nubes dentro del perio.do de tiempo establecido.

Para empezar, se realizó en QGIS la combinación de falso color RGB 453 (Landsat 5) y 564 (Landsat 8) con ayuda del complemento “Semi-Automatic Classification Plugin”. Dichas combinaciones involucran los canales rojo, infrarrojo cercano e infrarrojo medio, lo cual permitió tener un mayor contraste entre las diferentes coberturas, mejor definición en el borde de coberturas de suelo y agua y diferentes tonalidades de cafés, verdes y naranjas según el tipo de vegetación, haciendo de esta la combinación ideal para estudios que buscan conocer el tipo de vegetación y uso del suelo de un área determinada (Murillo, 2017).

Seguidamente, en el software “Impact Toolbox” se realizó la clasificación de cada imagen mediante la herramienta “Clasificación automática”, ésta, utiliza los valores digitales de reflectancia de cada uno de los pixeles y los categoriza en clases discretas teniendo en cuenta los rangos del índice NDVI (NIR-RED/NIR+RED) (Tabla 4). Luego apoyándose de las bandas azul y verde, se subdividieron estas tres categorías en subclases por medio de una serie de condicionantes establecidos por el software (Simonetti, Marelli, & Eva, 2015).

Tabla 4.
Rangos índice NDVI

Clases NDVI	Descripción
-1 y 0	Agua
0 y 0,45	Suelo
0,45 y 1	Vegetación

Nota: Rangos índice NDVI. Adaptado de Simonetti, D., Marelli, A., & Eva, H. (2015). *IMPACT toolbox*. https://doi.org/10.2788/143497

El producto final de este proceso es una imagen ráster donde cada uno de los pixeles se encuentra enmarcado en una de las categorías establecidas por el programa.

Posteriormente, en QGIS se tomaron ambas clasificaciones y se homologaron al nivel 3 de la “Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra Corine Land Cover adaptada para Colombia”. Para ello, se hizo la respectiva interpretación de la combinación de falso color con el objetivo de conocer las unidades de cobertura nivel 3 presentes en el área de estudio (Tabla 5). Luego, se superpuso la clasificación de “Impact toolbox” y se determinó que valores de píxel intersectaban cada cobertura (Tabla 6).

Tabla 5.
Unidades de cobertura nivel 3 presentes en el área de estudio

Código	Unidad de cobertura Corine Land Cover Nivel 3	Descripción
1.1.1	Tejido urbano continuo	Son espacios conformados por edificaciones incluye los espacios adyacentes a la infraestructura edificada. Las edificaciones, vías y superficies cubiertas artificialmente cubren más de 80% de la superficie de la unidad.
1.1.2	Tejido urbano discontinuo	Son espacios conformados por edificaciones y zonas verdes. Las edificaciones, vías e infraestructura construida cubren la superficie del terreno de manera dispersa y discontinua, ya que el resto del área está cubierta por vegetación.
2.2.2	Cultivos permanentes arbustivos	Coberturas permanentes ocupadas principalmente por cultivos de hábito arbustivo como café, cacao, coca y viñedos.
2.3.1	Pastos limpios	Comprende las tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento mayor a 70% de la unidad.
2.3.2	Pastos arbolados	Comprende tierras cubiertas con pastos, en las cuales se han estructurado potreros con presencia de árboles de altura superior a cinco metros, distribuidos en forma dispersa. La cobertura de árboles debe abarcar entre el 30% o 50% del área total de la unidad de pastos.
3.1.3	Bosque fragmentado	Comprende territorios cubiertos por bosques naturales densos o abiertos cuya continuidad horizontal está afectada por la inclusión de otros tipos de coberturas como pasto, cultivos o vegetación en transición, las cuales deben representar entre 5% y 30% del área total de la unidad de bosque natural. La distancia entre fragmentos de intervención no debe ser mayor a 250 metros.
5.1.4	Cuerpos de agua artificiales	Esta cobertura comprende los cuerpos de agua de carácter artificial, que fueron creados por el hombre para almacenar agua usualmente con el propósito de generación de electricidad y el abastecimiento de acueductos, aunque también para prestar otros servicios tales como control de caudales, inundaciones, abastecimiento de agua, riego y con fines turísticos y recreativos.

Nota: Las unidades de cobertura corresponden a las establecidas en el nivel 3 de la leyenda nacional de coberturas, metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia. Adaptado de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Bogotá, D. C. IDEAM

Finalmente, se vectorizó el ráster de la clasificación de “Impact toolbox” y dentro de la tabla de atributos de este nuevo archivo vectorial, se crearon los campos código y nivel 3 para asignarle a cada clase su respectiva cobertura. El procedimiento anteriormente descrito, se realizó para cada una de las imágenes Landsat (1991, 1998 y 2015).

Tabla 6.
Homologación de coberturas

Código	Unidad de cobertura Corine Land Cover nivel 3	Clases Impact toolbox Landsat 5 (1991 y 1998)	Clases Impact toolbox Landsat 8 (2015)
1.1.1	Tejido urbano continuo	30, 31, 35 y 41	30, 31, 34 y 35
1.1.2	Tejido urbano discontinuo		16, 21 y 41
2.2.2	Cultivos permanentes arbustivos	9, 11 y 13	9 y 11
2.3.1	Pastos limpios	16 y 21	14
2.3.2	Pastos arbolados	14	13
3.1.3	Bosque fragmentado	10, 12, 40 y 42	10, 12, 40 y 42
5.1.4	Cuerpos de agua artificiales	5,7 y 8	5, 7, 8

La tabla expone el ID de clase que intersectó cada unidad de cobertura para cada periodo de tiempo.

3.2.2.1 Confiabilidad clasificaciones temáticas. El análisis de confiabilidad se realizó solo para la clasificación de la cobertura más reciente (año 2015) con ayuda del complemento “AcATaMa Accuracy Assessment of Thematic Maps” de QGIS, cuyo fin es facilitar las labores de muestreo y evaluar la precisión de mapas temáticos (Corredor, 2019).

El procedimiento consistió en generar para cada clase temática, una muestra aleatoria estratificada de 50 puntos para las unidades tejido urbano continuo, tejido urbano discontinuo, cultivos permanentes arbustivos, pastos limpios, pastos arbolados, bosque y 10 puntos para cuerpos de agua artificiales (esto debido a su poca extensión), según recomendaciones dadas por Chuvieco (1995). De este muestreo se obtuvieron en total 310 puntos que fueron corroborados mediante fotografías de vehículo aéreo no tripulado (dron), imágenes del visor “Google earth”

(Cholan, 2018) e información recolectada durante los recorridos libres realizados por las veredas donde se hallaban los predios encuestados (Veloza, 2017).

Las medidas de confiabilidad consideradas fueron precisión general y coeficiente Kappa. La primera fue calculada por el complemento "AcATaMa" y la segunda se obtuvo en el software Excel a partir de la matriz de confusión generada por el complemento anteriormente mencionado.

- **Precisión general:** Indica el porcentaje de la superficie del terreno que fue clasificado correctamente (Olofsson, Foody, Stehman, & Woodcock, 2013).
- **Coeficiente Kappa:** Refleja el porcentaje de coincidencias entre una clasificación temática y los datos de la misma área en la realidad (Landis & Koch, 1977). Para valorar los resultados se tiene en cuenta la escala expuesta en la Tabla 7.

Tabla 7.
Índice Kappa

Índice Kappa	Fuerza de concordancia
< 0,00	Pobre
0,00-0,20	Leve
0,21-0,40	Justa
0,41-0,60	Moderada
0,61-0,80	Considerable
0,81-1,00	Casi perfecto

Nota: Valores y fuerza de concordancia índice Kappa. Adaptado de Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, *33*(1), 159–174. https://doi.org/10.2307/2529310

3.2.3 Métricas del paisaje. El cálculo de métricas del paisaje se llevó a cabo en el software "Fragstat 4", este programa de dominio público calcula la estructura del paisaje mediante el análisis de patrones espaciales de imágenes en formato vectorial o ráster, por medio de él es posible cuantificar número (composición), extensión y distribución espacial (configuración) de las coberturas de un mapa dentro de un paisaje delimitado por el usuario (McGarigal & Marks, 1995).

Para el cálculo de las métricas se utilizó el archivo vectorial de coberturas obtenido en el procedimiento de clasificación de coberturas. El programa calcula varias estadísticas de composición y configuración a nivel de parche, clase y paisaje, sin embargo, no existe un grupo determinado de métricas que reflejen la composición y la configuración, es el análisis conjunto de los índices lo que da forma a la estructura del paisaje. Dicho esto, el número y tipo de índices a utilizar dependerá del criterio del investigador y de las necesidades del trabajo (McGarigal & Marks, 1995). Para conocer la estructura del paisaje en cada uno de los años propuestos, se tuvieron en cuenta los índices a nivel de clase y de paisaje expuestos en la Tabla 8.

Tabla 8.
Métricas del paisaje

Nivel	Índice o métrica del paisaje	Sigla	Descripción	Unidades
Paisaje	Número de parches	NP	Refleja el número total de parches presentes en toda el área de estudio.	Número
	Densidad de parches	PD	Indica el número de parches presentes en cada 100 hectáreas del paisaje, sirve como índice de heterogeneidad espacial, a mayor densidad mayor heterogeneidad.	Número/hectáreas
	Índice de parche más grande	LPI	Cuantifica que porcentaje del área total del paisaje es comprendido por el parche más grande. Es útil para conocer las variaciones de los parches más grandes en cada periodo de tiempo.	Porcentaje
	Número de	NP	Muestra el número de parches existentes para	Número

Nivel	Índice o métrica del paisaje	Sigla	Descripción	Unidades
	parches		cada unidad de cobertura.	
	Área de clase	CA	Mide el área total ocupada por cada unidad de cobertura.	Hectáreas
	Porcentaje de ocupación de cada clase en el paisaje	PLAND	Calcula el porcentaje de paisaje ocupado por cada unidad de cobertura.	Porcentaje
	Tamaño promedio de los parches	MPS	Representa el tamaño promedio de los parches de una determinada unidad de cobertura (CA/NP). Si con el paso del tiempo se hace más pequeño indica que los parches han venido reduciendo su tamaño.	Hectáreas
	Desviación estándar del tamaño promedio de los parches	PSSDI	Desviación estándar del tamaño promedio de los parches. Útil para ver la diversidad en el tamaño de los parches, valores altos indican mayor diversidad en el tamaño de los parches de una misma clase, valores bajos refieren uniformidad en el tamaño.	Hectáreas
Clase	Índice de parche más grande	LPI	Cuantifica que porcentaje del área total del paisaje es comprendido por el parche más grande de cada unidad de cobertura. Es útil para conocer las variaciones de los parches más grandes en cada periodo de tiempo.	Porcentaje
	Distancia euclidiana vecino más cercano	ENN	Calcula la distancia más corta entre dos parches de la misma unidad de cobertura. Es útil para ver el aislamiento o dispersión espacial de los parches, a mayor distancia mayor aislamiento. Toma valores de cero a infinito.	Metros
	Índice de agregación	AI	Resultado de dividir el número de adyacencias de cada unidad de cobertura con el número total de adyacencias posibles, es útil para ver qué tan probable es que una cobertura tenga en sus proximidades parches de su mismo tipo, toma valores entre 0 y 100, si los resultados son cercanos a 0 la cobertura se encuentra más disgregada, a medida que se acerque a 100 la cobertura se vuelve más compacta.	Porcentaje

Nota: Unidad de cobertura se refiere a cada una de las clases de cobertura nivel 3. Parche indica una fracción de cada unidad de cobertura. Adaptado de McGarigal, K., & Marks, B. J. (1995). *FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. https://doi.org/https://doi.org/10.2737/PNW-GTR-351; Meza, M. C., & Armenteras, D. (2018). Uso del suelo y estructura de la vegetacion en paisajes fragmentados en la Amazonia, Colombia. *Colombia Forestal*, *21*(2), 205–223. https://doi.org/https://doi.org/10.14483/2256201X.12330

3.3 Comportamiento de los servicios ecosistémicos

En primer lugar, los productores identificaron los servicios ecosistémicos y luego se procedió a mirar el cambio en cada uno de ellos. En ese sentido, se desarrolló el siguiente proceso.

3.3.1 Trabajo de campo

- **Primera visita.** En principio, se introdujo a los productores en los conceptos de los servicios ecosistémicos, mediante un conversatorio, donde también se recalcó la importancia de los recursos naturales que poseen en sus fincas. Además, se les presentaron diferentes videos elaborados por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. En estos videos se expone claramente la importancia de los servicios ecosistémicos para las comunidades rurales y su clasificación por tipo (regulación, provisión y culturales), además de los servicios intermedios como los de soporte, (Instituto Humboldt, 2010a, 2010b, 2010c, 2010d, 2010e). Igualmente, éstos mencionan algunos ejemplos por cada conjunto de servicios.

Posteriormente, se les mostró didácticamente el listado de servicios ecosistémicos en forma de ruleta, para que se familiarizaran un poco más con cada uno de los conceptos. Esta ruleta fue adaptada de la organización no gubernamental Fondo Mundial para la Naturaleza World Wildlife Found (WWF). Lo anterior, debido a que la WWF es la mayor entidad independiente dedicada a fomentar la conservación en el mundo e insiste en la necesidad de elaborar un pacto entre la naturaleza y los seres humanos (WWF, 2018a, 2018b).

Dentro de este marco de teoría y aclaraciones, se aplicó una entrevista semiestructurada (Apéndice A) a los productores objeto de estudio; con el fin de conocer el diagnóstico de los servicios ecosistémicos actuales en sus fincas.

En primer lugar, la entrevista contiene preguntas orientadoras (Apéndice B) para la identificación los servicios ecosistémicos (nombres locales) por medio de su tipo de uso y su clasificación por tipo de servicio. Algunos de los interrogantes planteados, para indicar presencia o ausencia del servicio, fueron los siguientes; ¿posee áreas de bosque en su finca?, ¿utiliza leña como combustible?, ¿realiza actividades de conservación de suelos? ¿aplica abonos orgánicos elaborados en la finca? ¿mantiene protegidos los nacimientos de agua?, ¿usted se siente tranquilo en su finca?

En segundo lugar, con la entrevista también se evaluó la conservación del servicio ecosistémico. Es así, que se adaptó la metodología de la Guía para la Elaboración de Planes de Manejo de Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RNSC). En esta metodología, se tienen en cuenta tres escenarios posibles por cada pregunta: 1 escenario malo, 2 escenario regular y 3 escenario bueno. De tal manera, que solo se marca un escenario por pregunta (Ruíz et al., 2009).

- **Segunda visita.** Se tuvo en cuenta que los productores ya se familiarizaban con el concepto de cada uno de los servicios ecosistémicos que proporcionan sus fincas y que fueran personas mayores a 40 años.

De igual manera, para facilitar su percepción se colocó en la pared la ruleta de la WWF y se les presentó nuevamente los vídeos del Humboldt. A continuación, por grupos focales, se procedió a estimar su valor de cambio mediante las apreciaciones adoptadas de Valardy et al. (2011). Así que, se aplicó el formulario con los siguientes componentes: en las filas se encontraron los servicios ecosistémicos adaptados de la WWF (categoría del servicio) y su

subcategoría (nombre local). Además, en las columnas se colocaron los diferentes valores de cambio de los servicios (Apéndice C)

3.3.2 Trabajo de oficina. Posteriormente, se construyó la primera base de datos con las respuestas de las preguntas orientadoras, esta fue adaptada del estudio (Clavijo, 2018), donde las filas desglosan las categorías de los servicios ecosistémicos hasta llegar a su tipo de uso y suministrador del servicio. De igual manera, las columnas contienen el nombre de cada una de las fincas (Apéndice F). Esto con el fin de crear una visualización específica de la percepción de cada servicio ecosistémico por parte de los productores. Luego, se realizó una matriz binaria de ceros y unos, donde 0 representa la ausencia del servicio y 1 la presencia. Después, esta matriz se ingresó al software Infostat, con el objetivo de ejecutar un análisis de coordenadas principales (ACoorP), el cual permite la observación de interdependencia entre las variables estudiadas mediante una representación gráfica que muestra la distancia o similitud entre los individuos (Balzarini et al., 2001). También, porque se pueden utilizar variables tanto cualitativas como cuantitativas o combinadas. En este proceso, se estandarizaron los datos y se mostró la matriz de distancias, sobre la cual se realizó el respectivo análisis y se generó el gráfico denominado, Árbol de Recorrido Mínimo, que en consecuencia, visualizó las similitudes en cuanto a la percepción de oferta de servicios ecosistémicos en las fincas objeto de estudio (Balzarini et al., 2001)**.**

Simultáneamente, se construyó otra base de datos por cada grupo se servicios ecosistémicos, donde se incluyeron nuevamente cada una de las fincas. Esta vez, se tuvieron en cuenta los valores arrojados por los criterios utilizados para evaluar su conservación (Apéndice G). Luego, se realizó una depuración de los datos y se efectúo una sumatoria de puntaje por cada tipo.

Enseguida, estos resultados se plasmaron en un gráfico radial, debido a que es una herramienta de análisis que permite evidenciar en términos generales cómo cada productor conserva los servicios ecosistémicos que su finca ofrece (Ruíz et al., 2009).

Adicionalmente, se compararon los resultados de los procedimientos anteriores, mediante la depuración de las bases de datos por medio de tablas de frecuencias y se graficó.

Por otro lado, para estimar el valor de cambio de los servicios ecosistémicos, se incorporó la información recolectada por cada grupo focal en la primera base de datos, seguidamente, se depuró por grupo focal y se realizaron gráficos.

3.4 Relación entre la estructura del paisaje y la provisión de servicios ecosistémicos

Para llevar a cabo este objetivo y poder evaluar la relación entre la estructura del paisaje y la provisión de servicios ecosistémicos, se calculó la provisión potencial de servicios ecosistémicos para cada unidad de cobertura y posteriormente se contrastaron estos resultados con los resultados del cambio en la estructura del paisaje y la provisión de servicios ecosistémicos.

El cálculo de la provisión potencial de servicios ecosistémicos para cada unidad de cobertura se llevó a cabo mediante la aplicación del modelo de análisis espacial multicriterio (AEMC) (Rojas, 2018), Éste, permite mapear los servicios ecosistémicos a partir de la percepción de actores sociales (Malczewski, 2006). Para lograrlo, se emplearon los datos de las coberturas obtenidas en el último periodo de estudio y el listado de servicios ecosistémicos por categoría definido en el segundo objetivo. El primer paso consistió en obtener la percepción de los productores sobre la capacidad que tenían las diferentes coberturas para prestar cada uno de los servicios ecosistémicos. Para ello, en el marco de la segunda visita, se llenó con cada grupo focal

una matriz de capacidad de oferta de servicio en la cual el número 1 indicaba la capacidad de la cobertura para proveer un determinado servicio, y el número 0 señalaba lo contrario. Una vez realizada la actividad, se totalizaron los datos de todos los grupos focales en una sola matriz que reflejó la frecuencia con la que los productores asignaron un servicio a determinada cobertura y así dar a cada una un "valor de capacidad de oferta" en cada servicio ecosistémico.

En segunda instancia y con el fin de saber que tan importantes son los servicios ecosistémicos para cada grupo focal se llevó a cabo una actividad de "jerarquización" para cada uno de los servicios dispuestos en la ruleta. Ésta jerarquización consistió en la asignación de un valor de importancia en una escala del 1 al 5 (Tabla 9), donde cada uno de los valores de la escala especificaba el grado de importancia de cada servicio según el criterio de cada grupo (Muñoz, Camargo, & Romero, 2017).

Tabla 9.
Escala grado de importancia

Escala del grado de importancia	Valor	Descripción
Débilmente importante	1	Refiere que el servicio no tiene relevancia y se considera que su función dentro del ecosistema no es destacada, ni afecta positiva o negativamente el entorno
Menos importante	2	El servicio evaluado cumple una función, sin embargo, no presenta un impacto positivo muy grande.
Moderadamente importante	3	El servicio cumple una función con una importancia moderada en el entorno.
Muy importante	4	El servicio es considerado de gran importancia por las funciones preponderantes que desempeña.
Extremadamente importante	5	El servicio es indispensable para el funcionamiento del ecosistema.

Nota: Grado de importancia de los servicios ecosistémicos. Adaptado de Muñoz, J., Camargo, J. C., & Romero, C. (2017). Beneficios de los bosques de guadua como una aproximación a la valoración de servicios ecosistémicos desde la "Jerarquización y Calificación". *Gestión y Ambiente*, *20*(2), 222–231. https://doi.org/10.15446/ga.v20n2.66603

Una vez jerarquizados los servicios se construyó una nueva matriz en la que se halló la frecuencia relativa de cada servicio según el grado de importancia dado por los actores.

Finalmente, se halló el potencial de provisión de servicios ecosistémicos de cada unidad de cobertura mediante los modelos propuestos por Esse et al. (2014), para ello se calculó el producto entre el valor de capacidad de provisión y la frecuencia relativa para cada categoría de servicio, luego, se sumaron todas las categorías del mismo tipo. Esto dio como resultado el potencial de provisión de cada unidad de cobertura por tipo de servicio.

Las ecuaciones empleadas por cada modelo se describen a continuación:

- Servicios ecosistémicos de provisión

$$Provisión = Alimentos + Materias\ primas + Agua\ potable$$

- Servicios ecosistémicos de regulación

$$Regulación = Regulación\ de\ la\ calidad\ del\ aire + Regulación\ del\ clima + Regulación\ del\ agua + Regulación\ de\ la\ erosión + Purificación\ del\ agua\ y\ tratamiento\ de\ residuos + Control\ de\ plagas\ y\ enfermedades + Polinización + Mantenimiento\ del\ hábitat + Moderación\ de\ eventos\ extremos + Fertilidad\ del\ suelo$$

- Servicios ecosistémicos culturales

$$Culturales = Valores\ espirituales\ y\ religiosos + Valores\ estéticos + Recreación\ y\ ecoturismo + Salud\ física\ y\ mental$$

Con los resultados obtenidos y tras la aplicación de las ecuaciones, se construyó una escala de intervalos iguales que incluía tres categorías (baja, media y alta) para valorar la capacidad de prestación del servicio (Rojas, 2018).

Una vez hallado el potencial de provisión para cada cobertura, se confrontaron los resultados de los tres objetivos y se realizó su respectivo análisis.

4. Resultados

4.1 Cambios en la estructura del paisaje

4.1.1 Clasificación de coberturas. En la Figura 2, se encuentran consolidados los mapas de clasificación de coberturas para los años 1991, 1998 y 2015. En los mapas se pueden percibir los cambios en las coberturas del área de estudio.

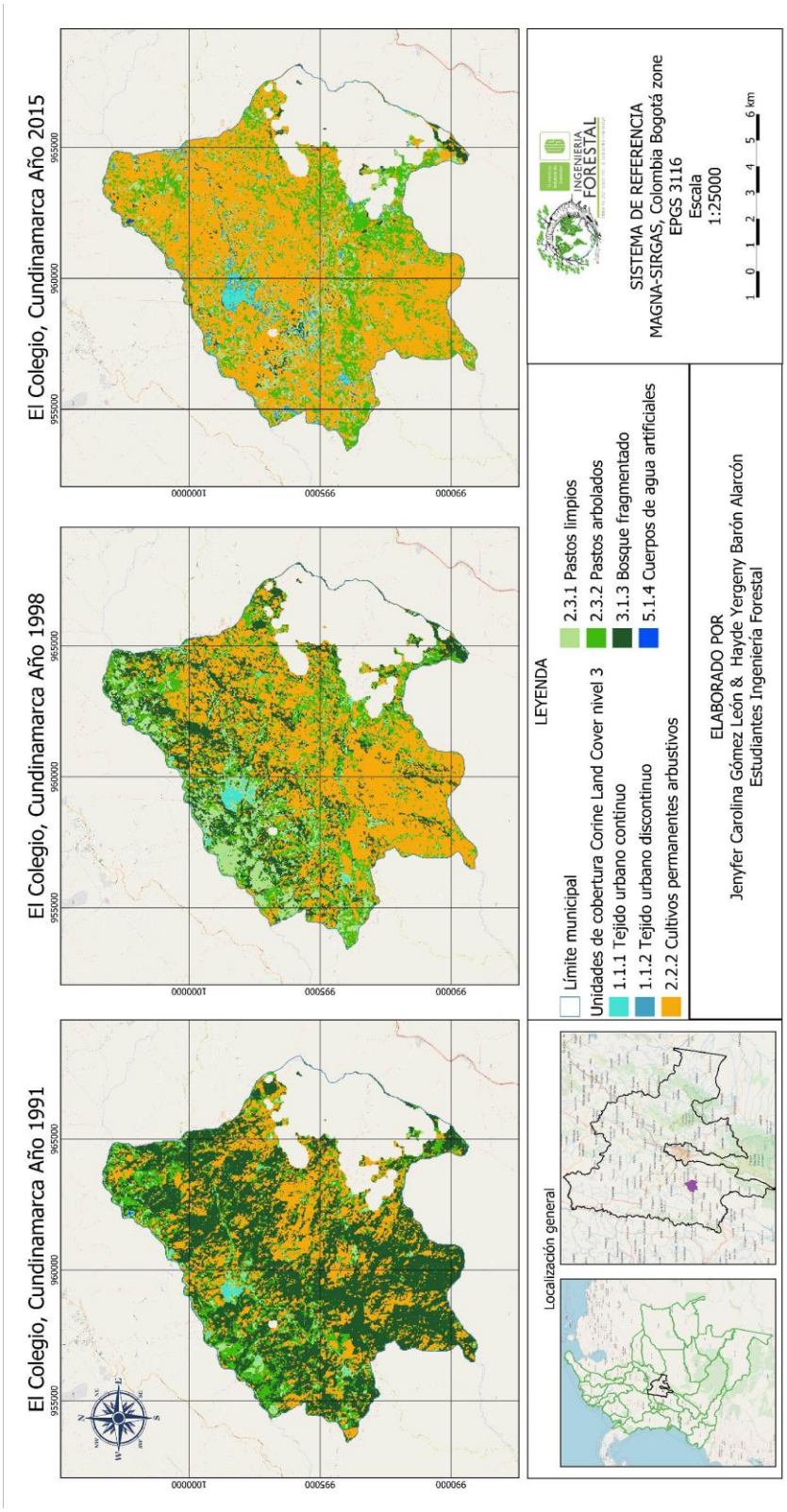

Figura 2. Mapas de coberturas de los tres periodos de estudio para el municipio de El Colegio, Cundinamarca

4.1.1.1Confiabilidad clasificación temática. La precisión general de la clasificación para el año 2015 arrojó que aproximadamente el 82% de la superficie mapeada corresponde a las coberturas reales del área de estudio (Apéndice D). De la misma manera el coeficiente Kappa presentó una exactitud "considerable" con un 0,63 de fuerza de concordancia entre la clasificación temática y las coberturas en terreno (Tabla 10).

Tabla 10.
Matriz de confusión y resultado de coeficiente Kappa

	Observador 2							
Observador 1	**1.1.1**	**1.1.2**	**2.2.2**	**2.3.1**	**2.3.2**	**3.1.3**	**5.1.4**	**Total**
1.1.1	**39**	9	0	0	2	0	0	50
1.1.2	8	**16**	1	14	10	0	1	50
2.2.2	0	0	**44**	0	5	1	0	50
2.3.1	0	2	7	**34**	7	0	0	50
2.3.2	0	0	5	5	**40**	0	0	50
3.1.3	0	2	8	2	8	**29**	1	50
5.1.4	0	0	0	0	0	0	**10**	10
Total	47	29	65	55	72	30	12	**310**
Índice Kappa	0,63							

1.1.1 Tejido urbano continuo, 1.1.2 Tejido urbano discontinuo, 2.2.2 cultivos permanentes arbustivos, 2.3.1 Pastos limpios, 2.3.2 Pastos arbolados, 3.1.3 Bosque fragmentado, 5.1.4 Cuerpos de agua.

4.1.2 Métricas del paisaje. A continuación, se presenta el análisis de la estructura del paisaje, para cada año de estudio, construido a partir de los resultados de métricas del paisaje (Apéndice E).

- **Estructura del paisaje del municipio El Colegio Cundinamarca año 1991.**

La heterogeneidad de este paisaje fue la más baja registrada para el periodo de análisis, con 5208 parches. El parche más grande representaba el 47% de toda el área de estudio y correspondía a la

cobertura de bosque fragmentado, siendo esta la matriz dominante. Dicha unidad tenía una agregación compacta (80%), una ocupación del 55% y una extensión de 5581 ha, sus parches tenían amplia variabilidad de tamaños (5 ha/promedio).

Dentro de esta matriz se hallaban parches de cultivos permanentes arbustivos, pastos arbolados y pastos limpios. Los primeros ocupaban el 27,5% con 2784 ha, los fragmentos de esta unidad variaban poco en tamaño (1,8 ha/promedio) y tenían una agregación del 70%, el parche más grande poseía el 5% del territorio y la distancia más corta entre ellos era de 81 m. Seguidamente, las áreas de pastos arbolados poseían el 12,6% del territorio con 1280 ha, los parches de dicha cobertura tenían un tamaño uniforme (1 ha/promedio) y agregación compacta, la distancia más corta entre ellos era de 87 m y el parche más grande encontrado solo ocupaba el 1% de todo el municipio. Por último, los pastos limpios representaban solo el 3,6% del área con 373 ha, los parches de esta unidad se encontraban más dispersos (47% de agregación), el más grande abarcaba solo el 0,1% del territorio, el tamaño promedio de sus estos era de 0,5 ha y variaba poco en toda su distribución, la distancia más corta entre fragmentos de esta unidad era de 131 m. El área urbana correspondía solo a tejido urbano continuo y representaba el 0,6% del territorio con 63 ha de parches moderadamente disgregados.

- **Estructura del paisaje El Colegio Cundinamarca año 1998.**

El paisaje se encontraba dominado por una matriz de cultivos permanentes arbustivos, dicha cobertura ocupaba el 44% de toda el área de estudio (4494 ha), a pesar de tener parches de tamaños variados (5 ha/promedio) conservaba una agregación compacta (80%) en la cual el fragmento más grande abarcaba el 30% del territorio.

Los elementos de tipo parche correspondían a las unidades de bosque fragmentado, pastos arbolados y pastos limpios. El bosque fragmentado ocupaba el 22% del territorio con 2268 ha,

sus parches se hallaban moderadamente dispersos (agregación del 62%) y no presentaban grandes variaciones de tamaño (1 ha/promedio), de estos el más grande alcanzó tan solo el 2% del área de estudio.

La unidad de pastos arbolados representaba el 18% de la zona de estudio con 1910 ha, aunque sus parches eran homogéneos en tamaño se encontraban dispersos por toda el área (56% de agregación). De igual manera los pastos limpios mostraban fragmentos dispersos de tamaños similares que representaban el 12% del territorio con 1301 ha.

Las áreas de tejido urbano continuo se encontraban moderadamente disgregadas y ocupaban el 1% del territorio con 112 ha.

- **Estructura del paisaje El Colegio Cundinamarca año 2015.**

Este paisaje presentó el mayor valor de heterogeneidad de los tres periodos de estudio con 6360 parches de los cuales el 62% correspondían a territorios de cultivos permanentes arbustivos, dicha unidad constituyo una matriz en la que los fragmentos de diversos tamaños se agregaban compactamente y en donde el más grande abarcaba el 58% del área.

Los elementos de tipo parche más representativos correspondían a las coberturas de pastos arbolados y pastos limpios. Los primeros mantenían una agregación moderadamente dispersa con parches que no variaban mucho en tamaño (1 ha/promedio) y representaban el 20% del territorio con 2104 ha. Los segundos, ocupaban el 9% del área con 960 ha, los parches de esta unidad se hallaban dispersos en la matriz y tenían un tamaño promedio de 0,5 ha.

Para este periodo surgieron áreas de tejido urbano discontinuo con un 3% de ocupación, el bosque fragmentado abarco tan solo el 2% del territorio y las áreas de tejido urbano continuo representaron el 1% de toda la zona de estudio, los parches de tejido urbano discontinuo y

bosque fragmentado se encontraban dispersos mientras que los de la unidad de tejido urbano continuo se presentaron moderadamente disgregados.

4.1.3 Cambios en la estructura del paisaje. Como puede observarse, la estructura del paisaje objeto de estudio ha sufrido cambios drásticos en los últimos 30 años, quizás el cambio más notorio se presentó entre los años 1991 y 1998 cuando la matriz de bosque fragmentado cambio a cultivos permanentes arbustivos, desde entonces las áreas de cultivos han ido incrementándose, caso contrario el bosque fragmentado ha disminuido, sus parches, cada vez más dispersos en el paisaje, pasaron de cubrir el 55% del municipio en 1991, a tan solo el 2% en 2015 (Figura 3).

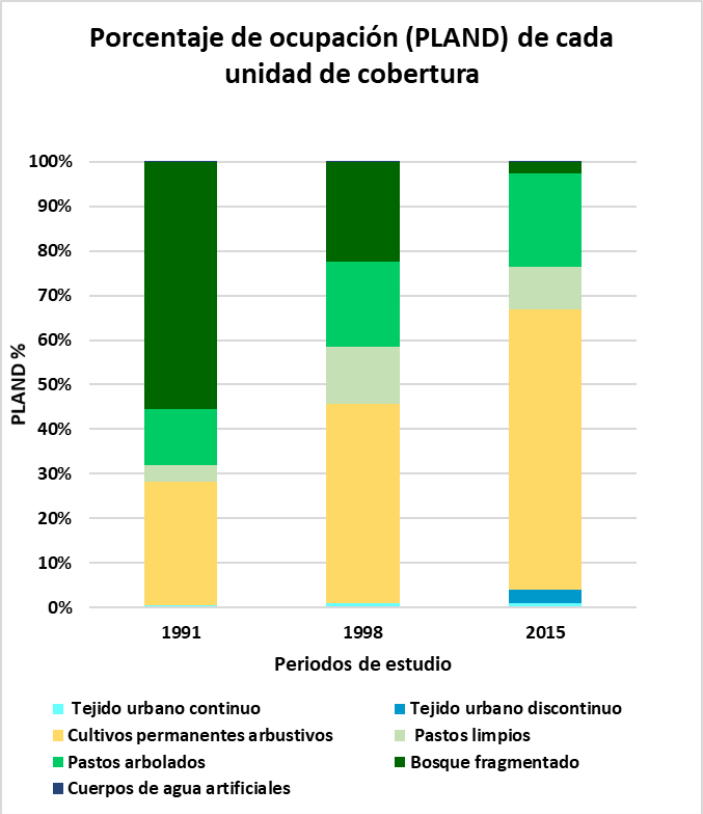

Figura 3. Porcentaje de ocupación de cada unidad de cobertura en cada periodo estudiado

Para el año 1991 el parche más grande del municipio correspondía a la cobertura de bosque fragmentado, sin embargo, en 1998 esto cambio ya que los cultivos permanentes arbustivos se consolidaron como matriz dominante, tal como se muestra en la Figura 4 el parche más grande de esta unidad abarcó más del 50% del municipio para el año 2015.

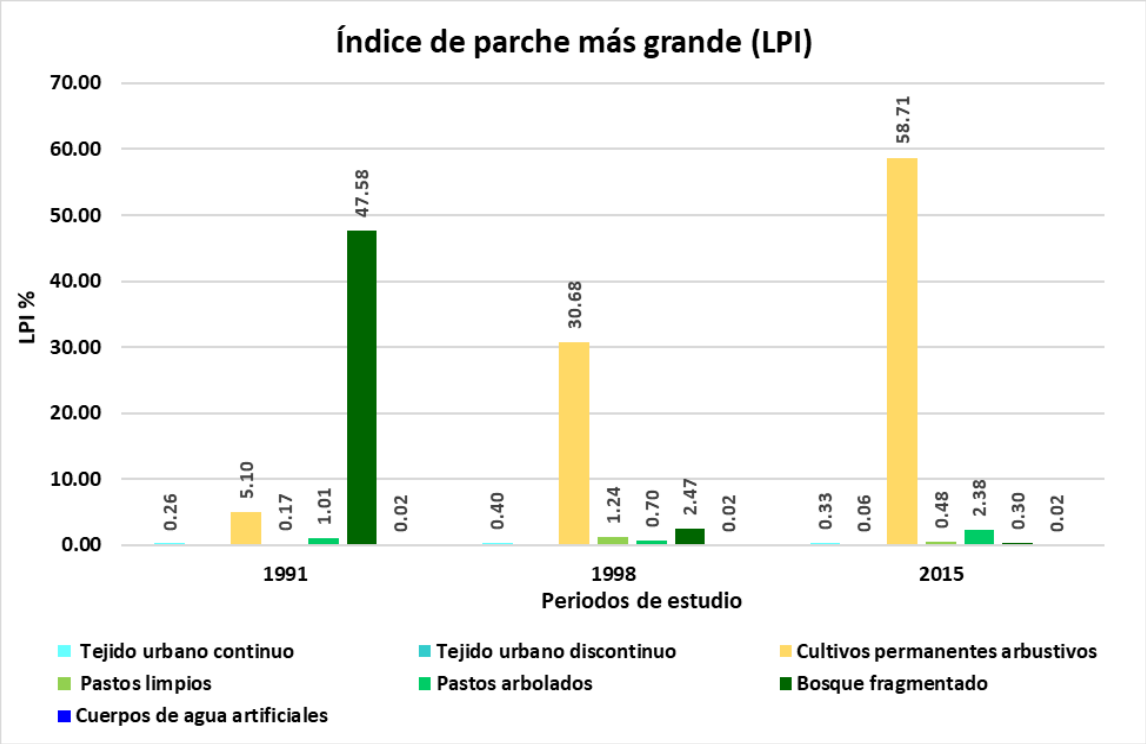

Figura 4. Índice de parche más grande (LPI) a nivel de clase para cada periodo estudiado

En la Figura 5 se observa como el número de parches de la cobertura de cultivos permanentes a disminuido con el paso del tiempo, sin embargo su área no lo hace, por el contrario aumenta. De esta misma manera la cobertura de pastos arbolados se mantiene en crecimiento y, a pesar de que el número de parches no ha aumentado mucho, el área que ocupan es cada vez más grande. Por último, a pesar de que la unidad de pastos limpios muestra un incremento en el número de

parches esto no es sinónimo de crecimiento, ya que el área que ocupaban disminuyó entre los años 1998 y 2015 debido a la aparición de la unidad de tejido urbano discontinuo que se hizo presente en el último periodo de estudio.

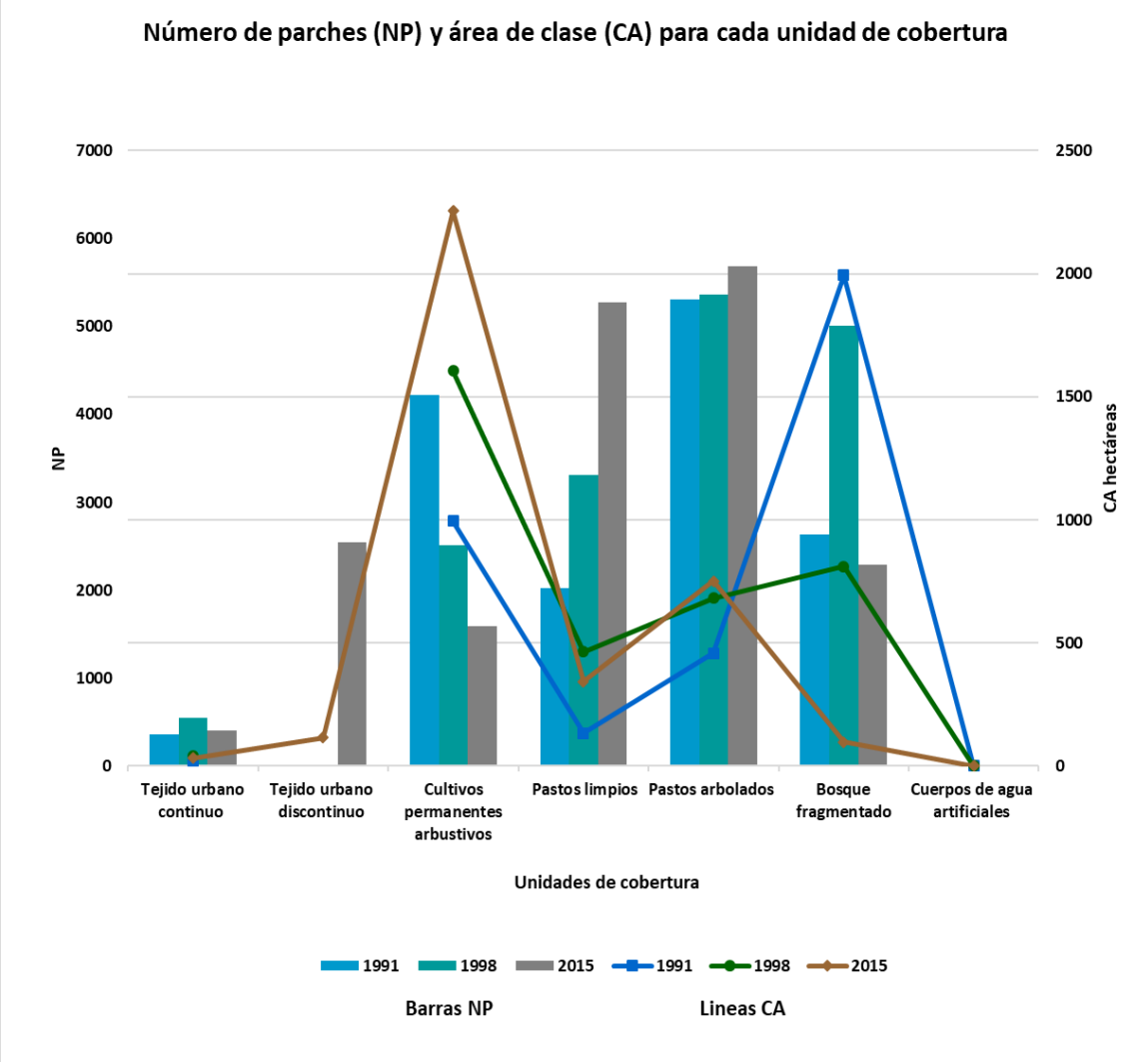

Figura 5. Número de parches (NP) y área de clase (CA) para cada unidad de cobertura

En la Figura 6 se muestra como las áreas de cultivos permanentes y de pastos arbolados han mostrado un incremento en su índice de agregación, es decir sus parches se encuentran cada vez más cercanos, sin embargo, las áreas de bosque presentan un comportamiento diferente, con el

paso del tiempo la agregación de esta cobertura a disminuido, lo cual refiere que los pocos parches de bosque presentes en el municipio se hallan dispersos y no presentan conectividad ente ellos.

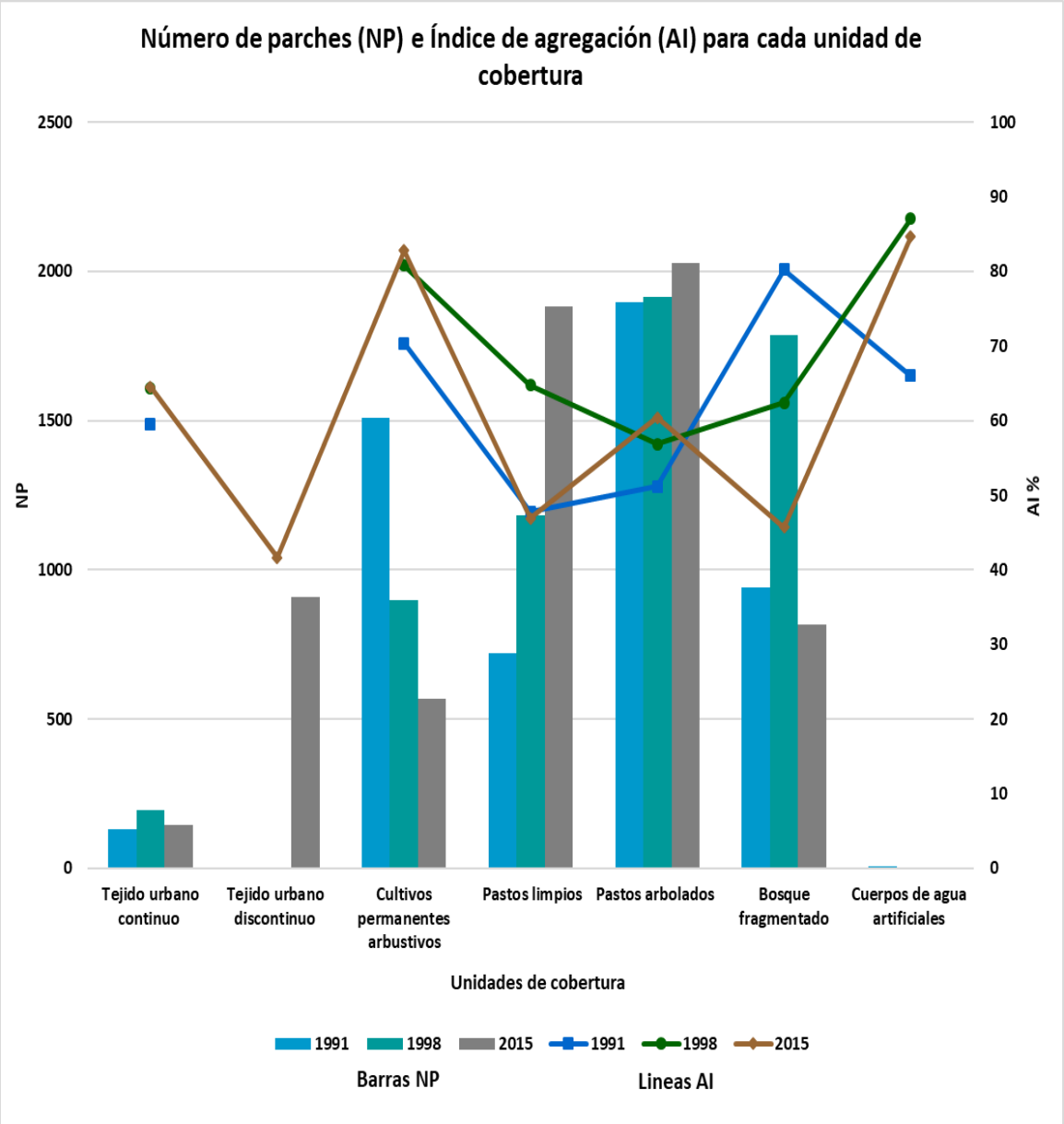

Figura 6. Número de parches e índice de agregación para cada unidad de cobertura en cada periodo estudiado.

4.2 Comportamiento de los servicios ecosistémicos

4.2.1 Características de los finqueros. De los 19 productores entrevistados, el 63% fueron hombres; además, el 73% de ellos se hallaron mayores de 60 años. Para el caso de las mujeres entrevistadas, la edad predominante se mostró entre los 18 y 59 años con una mayoría del 63%. Las fincas de estos productores en promedio presentan un área de 1,21 ha y el 63% de ellas están dedicadas solamente a la agricultura.

4.2.2 Percepción general de los servicios ecosistémicos. La entrevista semiestructurada aplicada en el área de estudio arrojó 622 respuestas de percepción de servicios ecosistémicos (Apéndice F). Se pudo evidenciar que el 49% de ellas, favorecieron a los servicios de regulación, en segundo lugar, con un 27% se encontraron los servicios culturales y, por último, el 24% representó a los servicios de provisión (Figura 7).

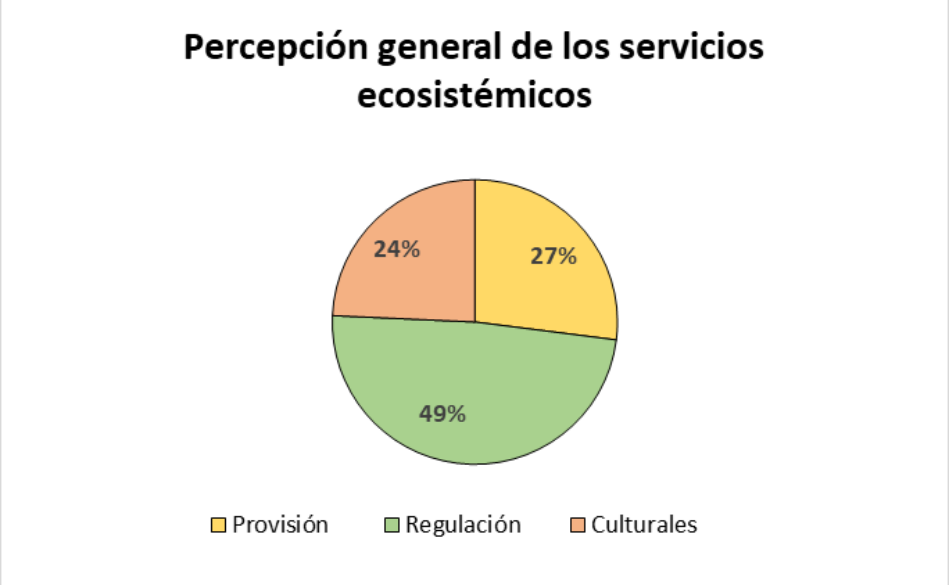

Figura 7. Percepción general de los servicios ecosistémicos: caracterización por tipo

Por otro lado, se hizo una comparación entre las fincas y cada tipo de servicio ecosistémico, donde se incluyó un total de respuestas; servicios de provisión 168, servicios de regulación 303 y servicios culturales 151, respectivamente. De esta forma, se observó que en la finca El Mandarino se percibieron la mayor cantidad de servicios de provisión (8%). Además, que las fincas El Porvenir y Santa Teresa mostraron el valor más bajo en percepción de los servicios de regulación (2%). Finalmente, las fincas no mostraron fluctuaciones evidentes en la percepción de servicios culturales. (Figura 8)

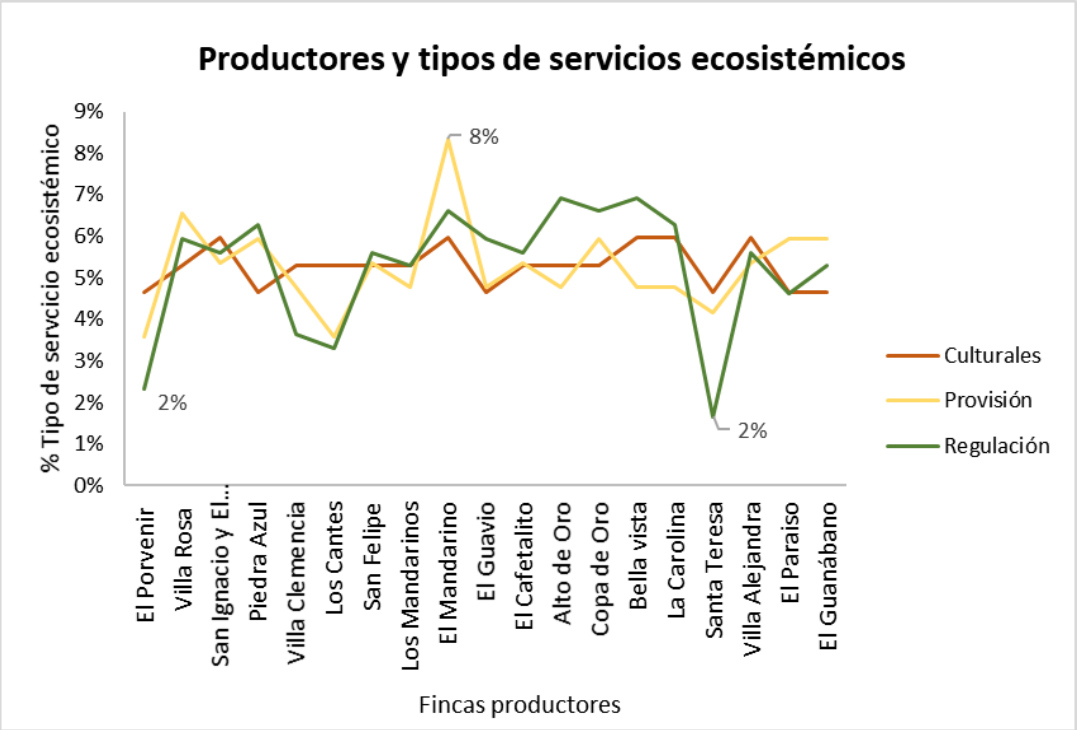

Figura 8. Productores y tipos de servicios ecosistémicos: comparación entre cada finca y el tipo de servicio ecosistémico.

4.2.3 Percepción de los servicios ecosistémicos por categoría. Se adaptaron los servicios ecositémicos de la WWF, los cuales son 17 en total, y para efectos de este estudio se les dio el nombre de categorías. Para los servicios culturales, el servicio salud física y mental fue el más percibido por los entrevistados (59%). Por el contrario, el servicio recreción y ecoturismo fue el menos percibido reflejado en un 7% (Figura 9).

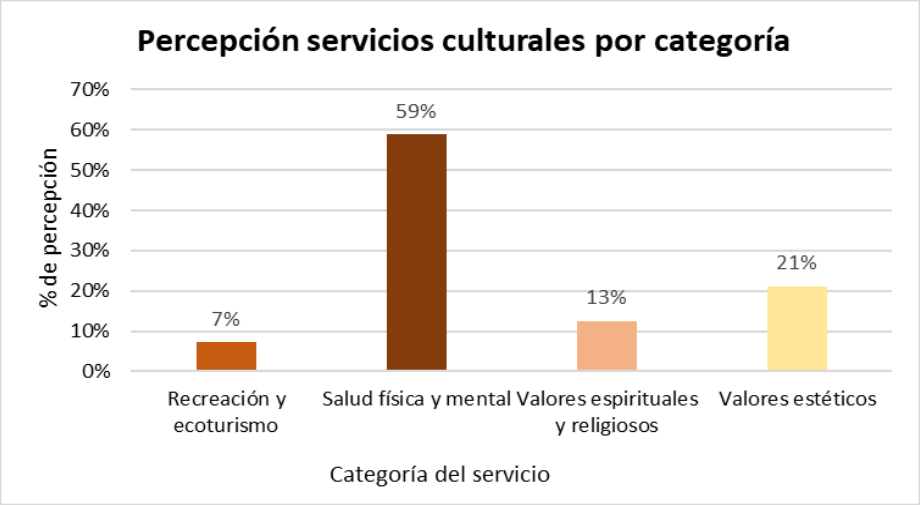

Figura 9. Percepción de los servicios culturales por categoría

Para el tipo de servicio de provisión, el servicio de alimento fue el más percibido (43%), seguido del servicio de materias primas (36%) y en último lugar, los entrevistados percibieron el servicio de agua potable (21%)(Figura 10).

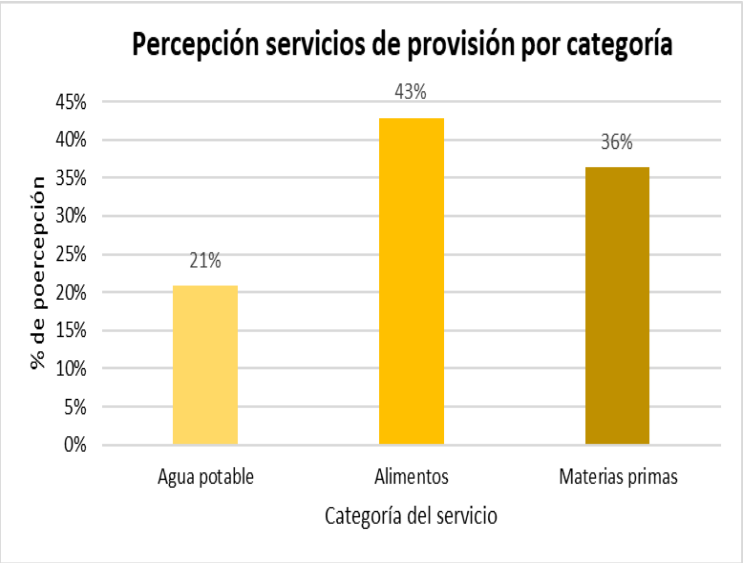

Figura 10. Percepción de los servicios de provisión por categoría

Para el tipo de servicios de regulación, el servicio más percibido por los entrevistados fue el de mantenimiento del hábitat (25%) y los servicios menos percibidos en las fincas con un valor del 5% fueron polinización, moderación de eventos extremos y fertilidad del suelo (Figura 11).

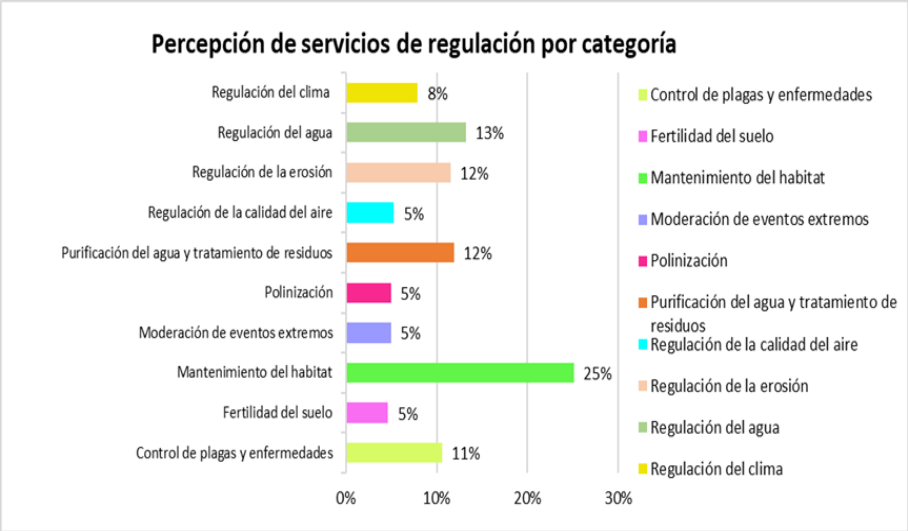

Figura 11. Percepción de servicios de regulación por categoría

4.2.4 Percepción de servicios ecosistémicos por subcategoría. En total, la comunidad identificó 37 subcategorías de servicios ecosistémicos (nombre local) agrupadas en 17 categorías las cuales representan los servicios adaptados de la WWF (Tabla 11).

Tabla 11.
Subcategoría de servicios ecosistémicos percibidos por la comunidad

	Categoría servicios ecosistémicos WWF	Subcategoría servicios ecosistémicos (nombre local)
Provisión	Agua potable	Agua del acueducto
		Nacimientos de agua
		Quebradas y arroyos
	Alimentos	Acuicultura
		Agricultura
		Ganadería
	Materias primas	Madera
		Productos forestales no maderables
Regulación	Control de plagas y enfermedades	Aplicación de biopesticidas y prácticas culturales
		Especies importantes para el funcionamiento de la finca (plantas trampa)
		Manejo de árboles nativos y cultivos
	Fertilidad del suelo	Aplicación de abonos orgánicos
	Mantenimiento del hábitat	Banco de semillas
		Conservación de animales nativos
		Reconocimiento de árboles nativos
		Conservación de árboles nativos
		Visualización de plantas invasoras
	Moderación de eventos extremos	Árboles y cercas vivas
	Polinización	Observación de colibrís, abejas
	Purificación del agua y tratamiento de residuos	Reciclaje de basuras.
		Tratamiento de aguas residuales.
	Regulación de la calidad del aire	Aire puro
	Regulación de la erosión	Cuidado los suelos para los cultivos
		Suelos húmedos
		Suelos protegidos, los nutrientes se quedan en el suelo
	Regulación del agua	Conservación del bosque
		El agua no se seca en el verano
		La lluvia cae sobre la copa de los árboles.

	Regulación del clima	El cultivo no se expone directamente al sol
		Temperatura fresca en la casa.
Culturales	Recreación y ecoturismo	Ecoturismo
	Salud física y mental	Aprendizaje continuo sobre la naturaleza
		Meditación
		Proactividad
	Valores espirituales y religiosos	Tranquilidad, paz
	Valores estéticos	Sentido de pertenencia
		Sentimientos de admiración por la naturaleza

La subcategoría del servicio más percibida por los productores fue la agricultura (9%), seguido de la madera (7%). En tercer lugar, (5%) se hallaron las subcategorías meditación y sentimientos de admiración por la naturaleza. El cuidado del suelo para los cultivos fue la subcategoría que menos percibieron los propietarios (0,48%), ya que esta subcategoría es medida según la rotación de los cultivos y las fincas de estudio presentan cultivos permanentes.(Figura 12.)

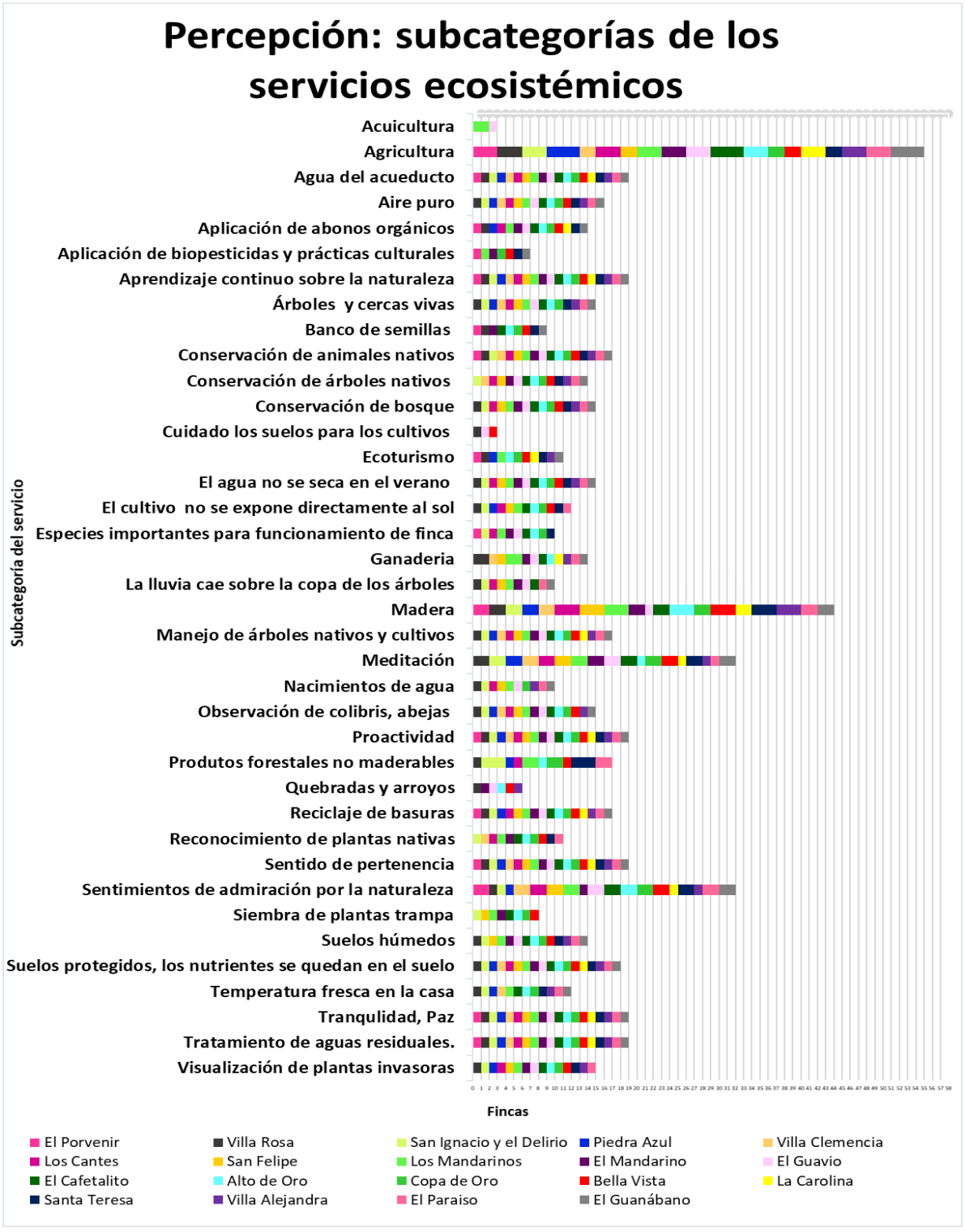

Figura 12. Nombre local de los servicios ecosistémicos y cantidad de fincas que los provee

El 95% de los productores mencionó que consume alimentos que produce en su finca, además el 89% respondió que sus cultivos eran comerciales y el 74% de ellos posee huertos familiares y jardín ornamental para la subsistencia. Tan sólo el 32% de los productores observó que los suelos de su finca han sido igual de productivos en el tiempo (Figura 13).

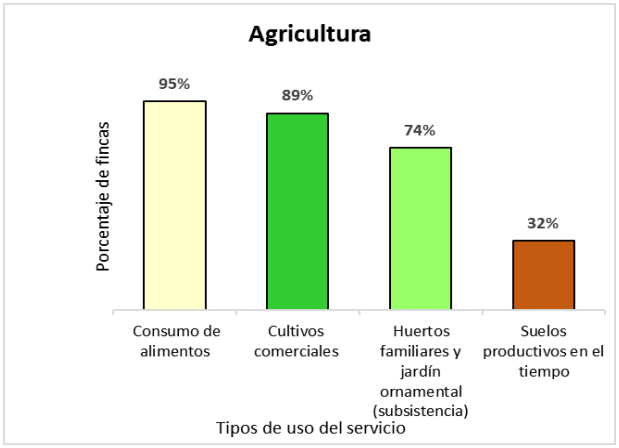

Figura 13. Percepción por tipos de uso de la subcategoría agricultura.

Todos los propietarios utilizan leña como combustible, aunque presentan servicio de gas propano. El 74% de ellos utiliza madera o guadua para construcciones, este material se observó en las paredes de los beneficiaderos, bodegas, columnas y vigas de sus casas. El 58% de los entrevistados utiliza la madera para tutores de cultivos y cercas (Figura 14).

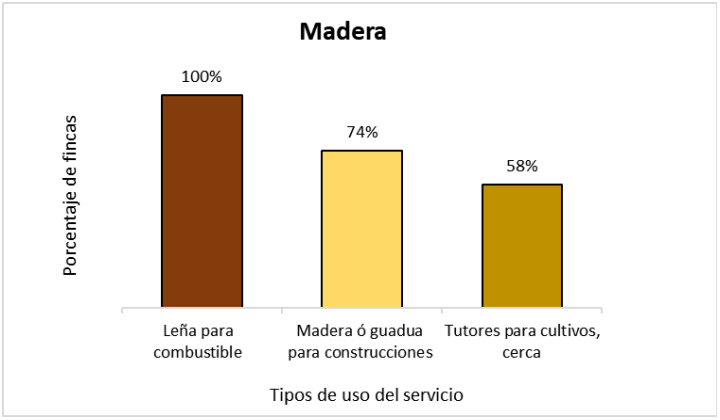

Figura 14. Percepción por tipos de uso de la subcategoría madera.

Los productores dejaron ver sus sentimientos por la naturaleza, ya que, el 95% de ellos aprecia el paisaje en el que viven y el 74%, aún cuenta historias que pasan de generación en generación. De igual manera, la meditación también es importante en sus vidas, ya que el 95% de ellos no tiene conflicto con sus vecinos por agua ni por linderos, además el 75% expresó que cada día tiene su afán (Figura 15).

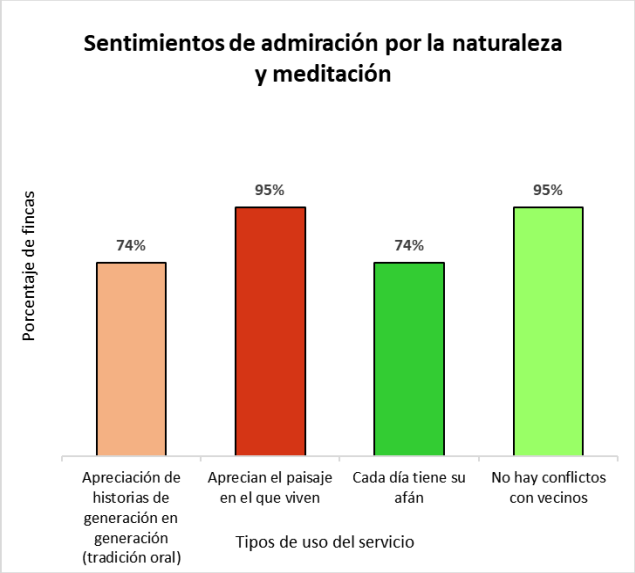

Figura 15. Percepción por tipos de uso de las subcategorías sentimientos de admiración por la naturaleza y meditación.

4.2.5 Los árboles y productores. Para los productores los árboles de la finca les ofrecen servicios de provisión y de regulación. Los cuales se explicarán por su tipo de uso a continuación (Figura 16). El 100% de los productores entrevistados utilizan leña como combustible, el 79% de ellos manifestaron que conservan el bosque y el 89% dijeron que ven animales silvestres merodear por la finca y no los cazan.

En el mismo sentido, el 74% de los productores presentó árboles nativos en sus fincas, el 63% de ellos los utilizan para suministrar sombra a los cultivos de café. De igual manera, el 47%

recolecta frutos de los árboles para alimento y tan sólo 16% para elaborar artesanías. Por otro lado, el 26% los reconoce como plantas medicinales.

En otros casos, el 79% declara los árboles como cercas vivas y que, además, amortiguan los vientos y las remociones en masa. Sin embargo, el 84 % los utiliza como barreras contra olores ofensivos, y así obtener un aire puro. Por otro lado, el 79% protege con ellos los nacimientos de agua, quebradas o ríos, para que esta no se agote en el verano. En contraste con lo anterior, el 58% de los productores reproduce plantas nativas para la conservación.

Por otro lado. El 53% de los productores notó que la lluvia cae a la copa de los árboles, luego desciende por las ramas y tronco, por último, cae a la hojarasca en suelo lo que disminuye el impacto de las gotas de lluvia y permite una mejor infiltración mitigando la escorrentía superficial.

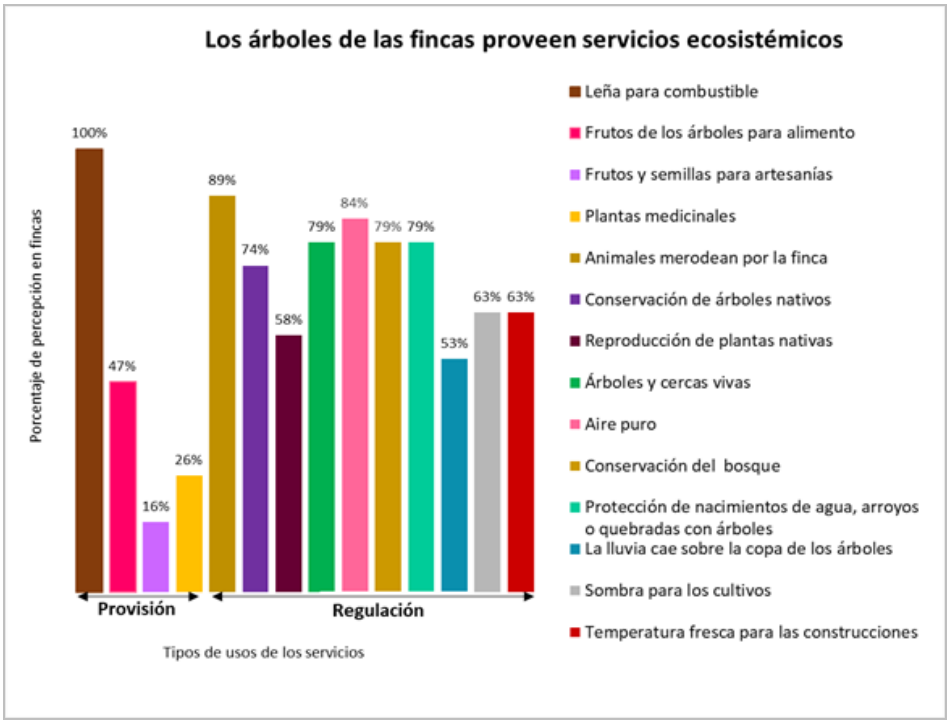

Figura 16. Servicios ecosistémicos que ofrecen los árboles para el bienestar del productor.

4.2.6 Fertilidad y control de la erosión del suelo. El 95% de los productores realiza labranza de conservación con el fin mantener los suelos protegidos y retener sus nutrientes, de igual manera, el 74% de ellos, conserva los suelos cubiertos por vegetación con el objetivo de preservarlos húmedos. Por otro lado, el 74% de los productores utiliza abonos orgánicos como gallinaza, lombrinaza, compostaje a partir de excremento, humus, porcinaza, cal dolomita y roca fosfórica para fertilizar sus cultivos (Figura 17).

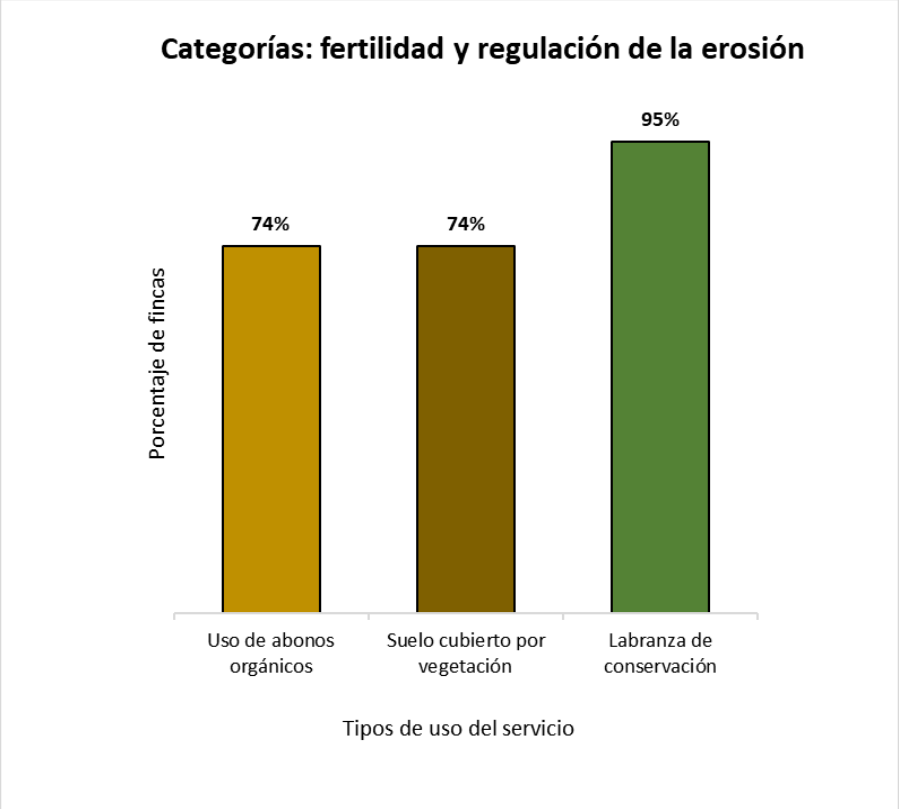

Figura 17. Fertilidad y regulación de la erosión

4.2.7 El agua y los productores. Todos los productores mencionaron que poseen acueducto, éste es alimentado de las diferentes quebradas (Antioquia, Antioqueñita y Santa Marta) que bañan el municipio, además, recalcaron que se restringe para el consumo humano. Por otro lado, el 53% de los encuestados posee por lo menos un nacimiento de agua en su finca, el cual, lo utilizan para el consumo cuando el verano perdura. En igual forma, el 32% de los entrevistados reportó que por su finca pasan pequeñas quebradas y arroyos, ellos manejan sus aguas para regadío de cultivos o dar de beber al ganado (Figura 18).

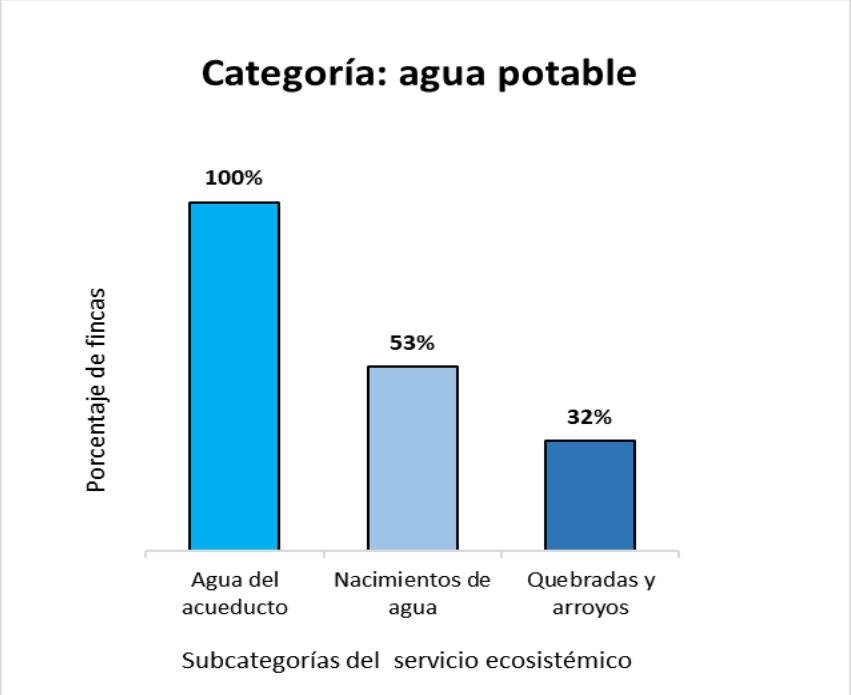

Figura 18. Categoría agua potable

4.2.8 Árbol de recorrido mínimo. En la Figura 19, se puede observar que las fincas están divididas en tres grupos diferentes y dos fincas aisladas.

- Grupo 1: fincas Piedra Azul, El Guanábano, Los Mandarinos, El Cafetalito, San Felipe, Villa Rosa y El Paraíso.

- Grupo 2: fincas Villa Alejandra, Bella Vista, El Mandarino, La Carolina, Copa de Oro, Alto de Oro, El Guavio, San Ignacio y El Delirio.
- Grupo 3: fincas Los Cantes y Villa Clemencia.
- Fincas aisladas: El Porvenir y Santa Teresa.

Aunque las fincas compartieron muchos tipos de usos de los servicios, éstas se agruparon de manera específica, es decir, poseen características únicas que las hacen similares.

En este orden de ideas, el primer grupo presentó 20 tipos de usos en común. Los cuales, se distribuyeron de la siguiente manera: diez pertenecieron a los servicios de regulación, cinco a los servicios de provisión y cinco a los servicios culturales. Particularmente, este grupo resaltó la presencia de nacimientos de agua en sus fincas. El agua de estos nacimientos, la consumen tanto ellos como los animales. Por otro lado, se observó la presencia de los servicios de mantenimiento del hábitat y purificación del agua y tratamiento de residuos, ya que, ellos reconocen las especies de plantas invasoras y realizan la separación de los residuos orgánicos para hacer compostaje. Por otro lado, las fincas de este grupo que comparten mayor cantidad de similitudes son las siguientes: El Guanábano, Los Mandarinos, San Felipe, Villa Rosa y El Cafetalito puesto que, contribuyen al servicio de regulación del agua, pues mantienen una cobertura de árboles de dosel.

Por otro lado, el segundo grupo presentó 16 tipos de uso en común, de los cuales seis fueron de servicios culturales, tres de provisión y siete de regulación. Mostraron similitudes específicas en tipos de uso como: consumo de alimentos que producen en sus fincas y el suelo se mantiene cubierto por vegetación. De igual manera, cabe resaltar que estos propietarios fertilizan sus cultivos con abonos orgánicos.

Del mismo modo, el tercer grupo presentó 18 tipos de uso en común, de los cuales, siete fueron de servicios culturales, cinco de servicios de provisión y seis de servicios de regulación. Donde los productores manifestaron que vivir en el campo les permite meditar y utilizan la frase “cada día tiene su afán”. Además, hacen uso de materias primas como madera para la elaboración de cecas. Por otro lado, este grupo utiliza árboles para la sombra de sus viviendas y resaltó la importancia de los polinizadores para la agricultura.

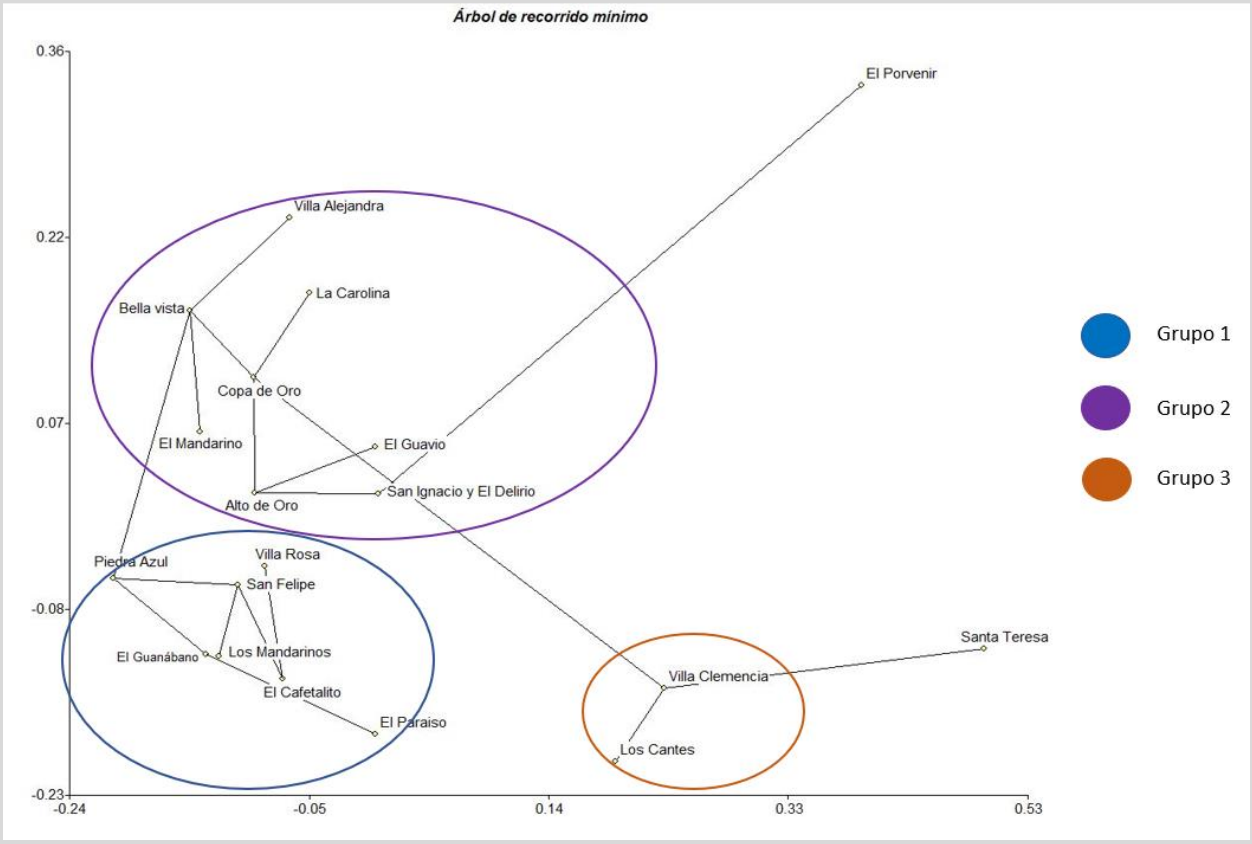

Figura 19. Árbol de recorrido mínimo

4.2.9 Estado de conservación de los servicios ecosistémicos, clasificación por tipo

- **Servicios de provisión.** En general, la mayoría de los productores hacen uso inadecuado de los servicios ecosistémicos de provisión (55%). Pues su estado de conservación se encuentra en un escenario malo (1), el 21% realiza procesos regulares para lograr la conservación de los servicios (2) y el 24 % de los productores ejecuta buenas prácticas para su conservación (3)(Figura 20)

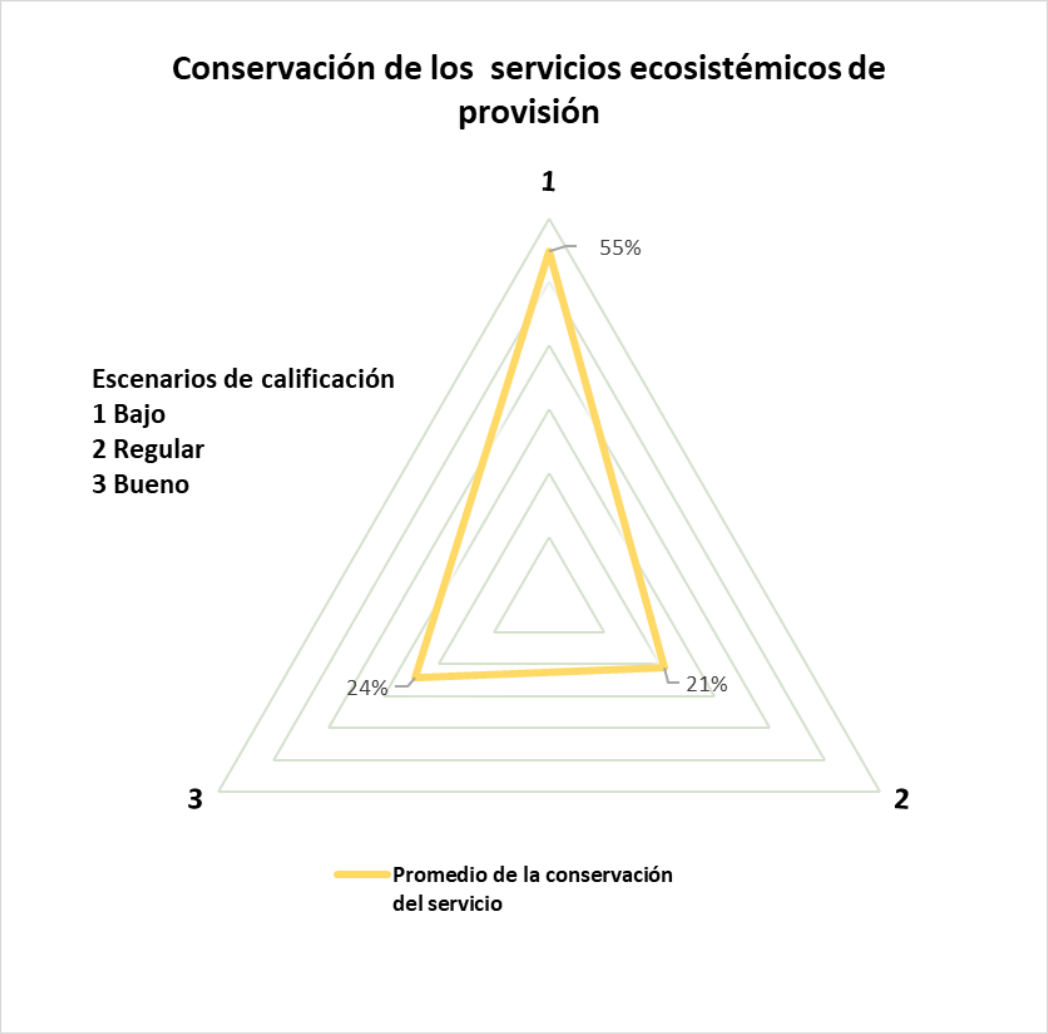

*Figura 20***.** Conservación de los servicios ecosistémicos de provisión

- **Servicios de regulación.** Los productores están bastante divididos para conservar estos servicios (Apéndice G). Afortunadamente, el 36% de los propietarios los preserva en un escenario bueno (3). Sin embargo, el 35% de ellos los mantienen en el peor escenario (1). Por otro lado, los propietarios restantes (29%) amparan los servicios de regulación en un escenario regular (2) (Figura 21).

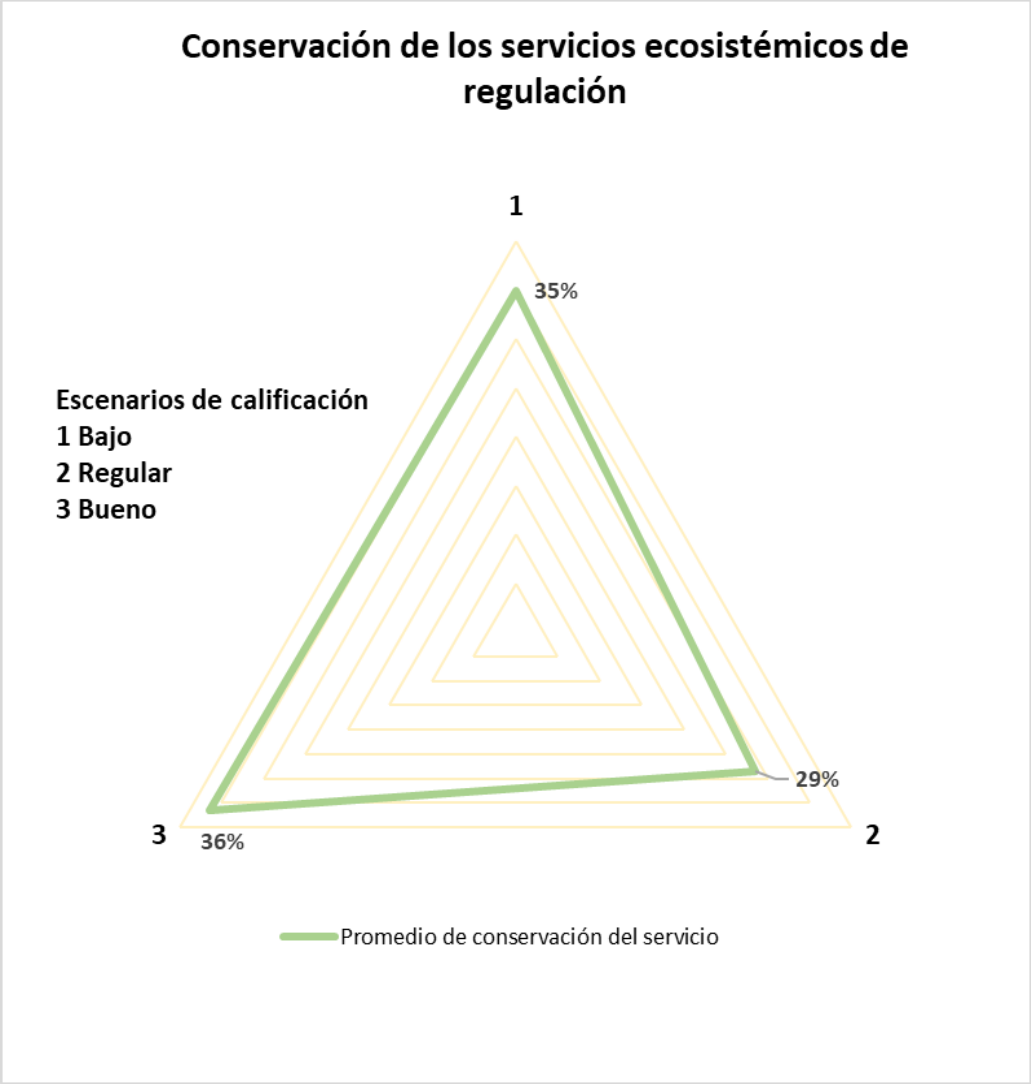

*Figura 21***.** Conservación de los servicios ecosistémicos de regulación

- **Servicios culturales.** En general, los productores no conservan los servicios culturales pues se mostraron calificados en un escenario de regular (2) a malo (1), solamente el 15% de ellos los preserva en un escenario bueno (3) (Figura 22).

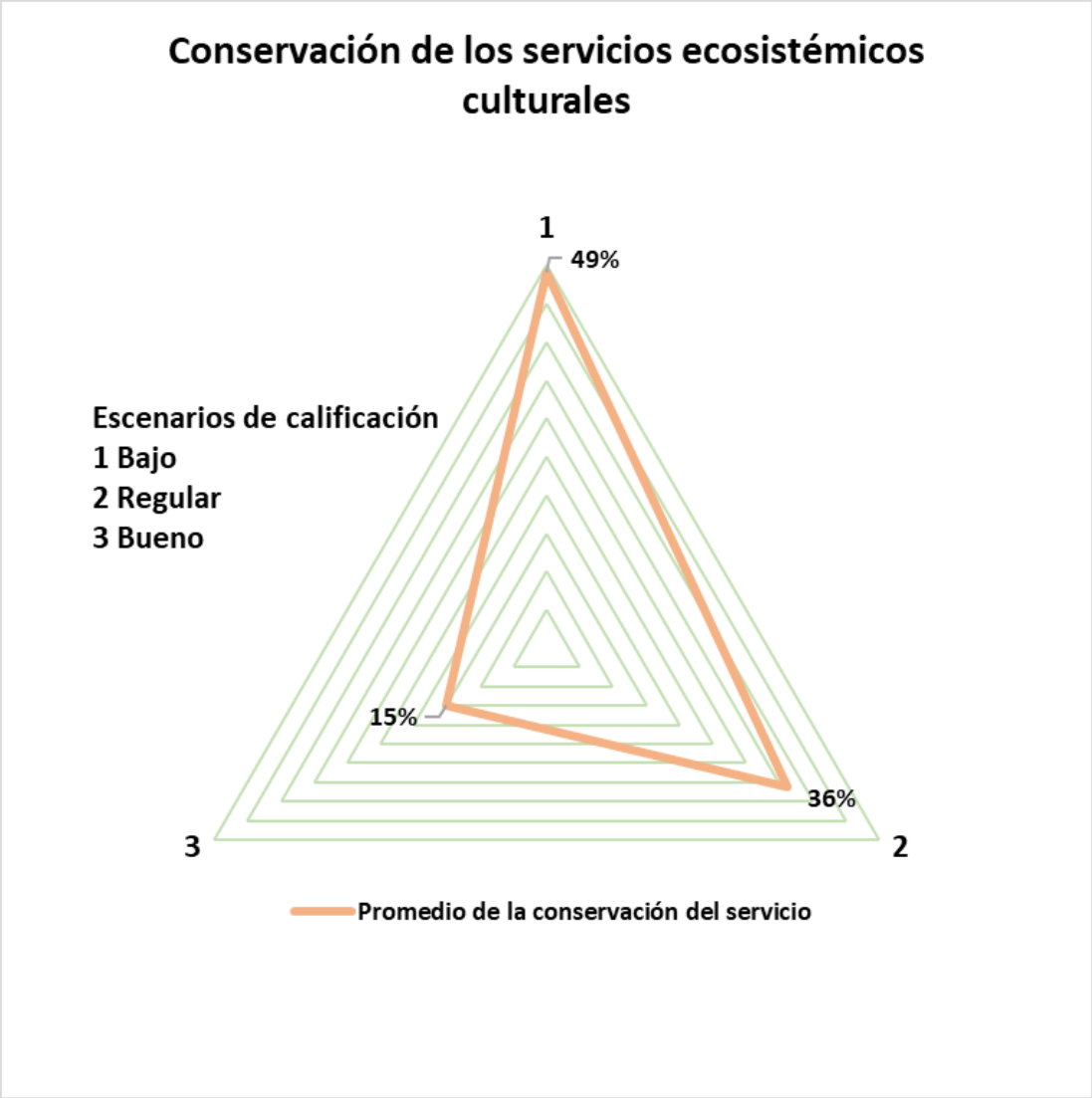

*Figura 22***.** Conservación de los servicios ecosistémicos culturales

4.2.10 Valor de cambio de servicios ecosistémicos. Los grupos focales se definieron teniendo en cuenta la facilidad de reunión en puntos estratégicos dentro de las veredas donde se hallaban las fincas de los productores.

- Grupo focal 1: Sitio de reunión, vereda Antioqueñita
- Grupo focal 2: Sitio de reunión vereda Porvenir
- Grupo focal 3: Sitio de reunión, vereda Trujillo

Los resultados de la aplicación de la entrevista de valor de cambio se exponen en la Tabla 12, en esta se puede observar que para el periodo de estudio (1991-2015) los servicios de provisión y regulación bajaron su oferta en casi un 50%, los servicios culturales presentaron menores perdidas, con tan solo una reducción del 9,5%, estos mismos mantuvieron su oferta en un 52,4% y además aumentaron un 38,1%, siendo estos los que más aumentaron.

Tabla 12.
Valor de cambio por tipo de servicios ecosistémicos

Tipo de servicio	Porcentaje	Valor de cambio 1991 - 2015
Provisión	**41,7%**	Disminuyó
	37,5%	Aumentó
	20,8%	Se Mantuvo
Regulación	**44,9%**	Disminuyó
	30,4%	Aumentó
	14,5%	Se mantuvo
	7,2%	Desapareció
	2,9%	NS/NR
Culturales	**52,4%**	Se mantuvo
	38,1%	Aumentó
	9,5%	Disminuyó

4.3 Relación entre la estructura del paisaje y la provisión de servicios ecosistémicos

4.3.1 Capacidad de provisión de servicios por tipo de cobertura. La capacidad de provisión de servicios ecosistémicos para cada una de las coberturas según la percepción de los grupos focales se expone en la Tabla 13.

Los valores de ésta reflejan la frecuencia con la que los productores asignaron un servicio a determinada cobertura, por ejemplo, cultivos permanentes arbustivos tiene un valor de 3 en el

servicio provisión de alimentos, esto indica que los tres grupos focales concordaron en que dicha cobertura tenía la capacidad de proveer ese servicio, sin embargo, la misma cobertura tiene un valor de 1 en el servicio de moderación de eventos extremos, lo cual quiere decir que de los tres grupos focales tan solo uno determinó que ésta cobertura podría prestar este servicio.

Según los resultados la cobertura con mayor frecuencia fue el bosque fragmentado con 47 asignaciones, seguida de cultivos permanentes arbustivos y pastos arbolados. Los tres grupos focales concordaron en que el bosque es capaz de prestar todos los servicios ecosistémicos de regulación y provisión de materias primas, dos resaltaron su importancia para la provisión de alimentos y, curiosamente, tan sólo un grupo focal valoró la capacidad de esta unidad para la provisión de agua potable.

Tabla 13.
Matriz valor de capacidad de provisión de servicios por tipo de cobertura

		Tejido urbano continuo	**Tejido urbano discontinuo**	**Cultivos permanentes**	**Pastos limpios**	**Pastos arbolados**	**Bosque fragmentado**	**Cuerpos de agua artificiales**	**Total, presencia de servicio**
PROVISION	Alimentos	0	2	3	1	3	2	1	12
	Materias primas	0	1	2	0	1	3	0	7
	Agua potable	1	2	1	0	1	1	3	9
Total		**1**	**5**	**6**	**1**	**5**	**6**	**4**	**28**
REGULACION	Regulación de la calidad del aire	0	1	3	0	2	3	0	9
	Regulación del clima	0	0	3	0	2	3	0	8
	Regulación del agua	0	0	3	1	1	3	0	8
	Regulación de la erosión	0	0	3	1	3	3	1	11
	Purificación del agua y tratamiento de residuos	0	3	3	1	0	3	0	10
	Control de plagas y enfermedades	0	0	2	0	2	3	0	7
	Polinización	0	1	2	1	1	3	0	8

		Tejido urbano continuo	Tejido urbano discontinuo	Cultivos permanentes	Pastos limpios	Pastos arbolados	Bosque fragmentado	Cuerpos de agua artificiales	Total, presencia de servicio
	Moderación de eventos extremos	0	0	1	0	1	3	0	5
	Fertilidad del suelo	0	0	3	0	2	3	0	8
	Mantenimiento del hábitat	0	0	3	0	2	3	0	8
Total		**0**	**5**	**26**	**4**	**16**	**30**	**1**	**82**
CULTURALES	Valores espirituales y religiosos	1	0	3	0	1	3	0	8
	Valores estéticos	0	2	3	0	2	3	0	10
	Recreación y ecoturismo	3	3	2	2	2	2	3	17
	Salud física y mental	0	2	3	3	3	3	3	17
Total		**4**	**7**	**11**	**5**	**8**	**11**	**6**	**52**
Total, servicios ecosistémicos asignados a cada cobertura		**5**	**17**	**43**	**10**	**29**	**47**	**11**	

Al analizar, el total de veces que un servicio fue asignado, independientemente de la cobertura, se puede notar que en el grupo de servicios ecosistémicos de provisión la categoría alimentos tiene el mayor valor (12), esto se debe a que las actividades agrícolas constituyen la principal actividad económica en el municipio, prácticamente la producción de alimentos se halla presente de una u otra forma en cada una de las coberturas.

Por otra parte, en el grupo de servicios ecosistémicos de regulación la categoría control de la erosión recibió la mejor valoración (11), si bien las actividades agrícolas son su principal fuente de ingresos, el hecho de que predominen los cultivos permanentes contribuye a mantener el suelo protegido y evitar así procesos erosivos.

En cuanto al grupo de servicios ecosistémicos culturales, las categorías más valoradas son las de recreación y ecoturismo, salud física y mental, esto gracias a que los productores mantienen una estrecha relación con sus paisajes y manifiestan llevar una vida tranquila y sosegada que es agradable para ellos y para los turistas provenientes de la capital de país.

4.3.2 Jerarquización de servicios. La actividad de jerarquización de servicios determinó la importancia que tenía cada servicio ecosistémico para cada uno de los grupos focales (Tabla 14). De esta se determinó que el servicio de provisión más importante corresponde al de agua potable, al cual los tres grupos focales valoraron como extremadamente importante, es decir, un servicio que es indispensable para el funcionamiento del ecosistema.

En cuanto al grupo de servicios ecosistémicos de regulación los más importantes fueron los de regulación del agua y del clima, catalogados como extremadamente importantes, y regulación de la calidad del aire valorado como muy importante.

Tabla 14.
Jerarquización de servicios

	SERVICIOS ECOSISTEMICOS	Grupo focal 1	Grupo focal 2	Grupo focal 3	Total	Promedio	Peso relativo
PROVISION	Alimentos	3	5	5	13	4,3	0,32
	Materias primas	5	5	3	13	4,3	0,32
	Agua potable	5	5	5	15	5,0	0,37
	Total, servicios ecosistémicos provisión	**41**					

	SERVICIOS ECOSISTEMICOS	Grupo focal 1	Grupo focal 2	Grupo focal 3	Total	Promedio	Peso relativo
REGULACION	Regulación de la calidad del aire	4	5	5	14	4,7	0,12
	Regulación del clima	5	5	5	15	5,0	0,13
	Regulación del agua	5	5	5	15	5,0	0,13
	Regulación de la erosión	1	5	5	11	3,7	0,09
	Purificación del agua y tratamiento de residuos	1	5	5	11	3,7	0,09
	Control de plagas y enfermedades	5	3	4	12	4,0	0,10
	Polinización	1	5	4	10	3,3	0,08
	Moderación de eventos extremos	1	4	4	9	3,0	0,08
	Fertilidad del suelo	3	5	4	12	4,0	0,10
	Mantenimiento del hábitat	1	5	4	10	3,3	0,08
	Total, servicios ecosistémicos regulación				**119**		
CULTURALES	Valores espirituales y religiosos	4	5	3	12	4,0	0,26
	Valores estéticos	1	4	3	8	2,7	0,17
	Recreación y ecoturismo	5	4	3	12	4,0	0,26
	Salud física y mental	4	5	5	14	4,7	0,30
	Total, servicios ecosistémicos culturales				**46**		

4.3.3 Provisión potencial de servicios. La aplicación de las ecuaciones para determinar el potencial de provisión de servicios por cada unidad de cobertura arrojó los resultados expuestos en la Tabla 15 y permitió construir la escala para valorar la capacidad de prestación del servicio mostrada en la Tabla 16.

Tabla 15
Provisión potencial de servicios ecosistémicos por unidad de cobertura

Potencial de provisión	Tejido urbano continuo	Tejido urbano discontinuo	Cultivos permanentes arbustivos	Pastos limpios	Pastos arbolados	Bosque fragmentado	Cuerpos de agua artificiales
Provisión	0,37	1,68	1,95	0,32	1,63	1,95	1,41
Regulación	0,00	0.48	2,61	0,39	1,60	3,00	0,09
Culturales	1,04	1,74	2,74	1,43	2,04	2,74	1,70

De acuerdo con estos resultados, las coberturas de cultivos permanentes arbustivos y bosque fragmentado tienen el mayor potencial de provisión de servicios, con una alta capacidad para proporcionar servicios de regulación y culturales, mediana capacidad para prestar servicios de provisión. Por otro lado, la unidad de pastos arbolados mostró alta capacidad para la provisión potencial de servicios culturales, capacidad media para ofrecer servicios de regulación.

Tabla 16.
Escala para valorar capacidad de prestación del servicio

Valor	Capacidad de prestación del servicio
0 - 1	Baja
1 - 2	Media
2 - 3	Alta

5. Discusión

En los últimos 30 años el municipio de El Colegio Cundinamarca ha sufrido cambios en la estructura de su paisaje, donde la deforestación para el establecimiento de cultivos permanentes arbustivos y pastos fue el principal motor de cambio, tal como expresan Armenteras & Vargas (2016), la deforestación, la agricultura y la ganadería son los principales disturbios antrópicos que afectan la estructura del paisaje y causan perdida de los servicios ecosistémicos.

Entre los años 1991 y 2015 las áreas de bosque fragmentado pasaron de cubrir el 55% a tan solo el 2% del municipio, a pesar de ello, a ésta cobertura los productores asignaron mayor número de servicios ecosistémicos, resultados similares encontraron Giraldo, Osorio, & Tobon (2015), donde las áreas de bosque disminuyeron y éstas mismas recibieron la mayor valoración para la prestación de servicios ecosistémicos. El bosque presentó además alta capacidad para proveer servicios culturales y de regulación y media capacidad para ofrecer servicios de provisión.

Los servicios de regulación fueron los más percibidos por los productores, al igual que en algunos ecodistritos del estudio realizado por (Vilardy et al., 2011). Sin embargo, estos se redujeron en un 44,9%, se cree que la causa principal de dicha disminución es la poca conservación de este tipo de servicios por parte de los productores y la reducción en el área de bosque. Dentro de éstos servicios los productores valoraron como más importantes la regulación del clima y del agua, lo cual concuerda con el estudio de Moyano (2016), sin embargo, sólo el primer grupo focal coincidió que el abastecimiento de agua proviene del bosque.

Los servicios culturales registraron una baja percepción por parte de los productores, lo cual concuerda con el estudio de Clavijo (2018), dentro de ellos la categoría más importante es la de

salud física y mental, asociada principalmente a las zonas de cultivos y bosques, como sitios que les permiten meditación, proactividad, tranquilidad y paz, estos mismos resultados fueron reportados por Rincon et al. (2016).

Por otro lado, se encuentran los servicios de provisión, estos fueron los menos percibidos por los productores y registraron una disminución del 41,7%, contrario a lo que se esperaría de una zona dominada por cultivos permanentes con tendencia a la expansión. Dentro de este grupo, los servicios más percibidos son los de alimentos y materias primas, esto explica la condición que en los últimos años aumentaron las áreas de cultivos permanentes y disminuyeron las de bosque. Los productores consideran que los cultivos permanentes pueden proveerles alimentos y materias primas como leña y madera, que les permitan suplir sus necesidades básicas y contribuir al bienestar y mantenimiento de la calidad de vida (Clavijo, 2018).

Si bien, el servicio de provisión de alimentos fue el más percibido por los productores, este trabaja en conjunto con el servicio de control de la erosión, el cual tuvo mayor número de asignaciones dentro del grupo de servicios de regulación, ya que la mayoría de los productores realiza labranza de conservación, aplica abonos orgánicos y procura mantener sus suelos cubiertos de vegetación, con el objetivo de preservar la humedad y retener nutrientes que les garanticen la productividad de sus cultivos, esto concuerda con algunos resultados expuestos por Navarro (2012).

Vale la pena mencionar que, al igual que en los resultados reportados por Andrade et al. (2017), en el presente estudio el servicio de polinización no es percibido ni valorado por los productores, puesto que en el árbol de recorrido mínimo solo un grupo de los tres resaltó su importancia, a pesar que este es considerado un servicio vital para la producción de alimentos (Abouhamad, Rojas, Méndez, Salazar, & Salmerón, 2017).

Para finalizar, se prevé que en los próximos 20 años el paisaje del municipio se verá afectado por el fenómeno de parcelación de predios. Esto debido, a la aparición de la unidad de tejido urbano discontinuo en el último periodo de estudio, donde reemplazó las zonas de pastos limpios que se hallaban en las inmediaciones del casco urbano. Según datos aportados por los productores, este fenómeno responde a que la población joven de la zona rural emigra a la capital en busca de mejores oportunidades y solo retorna al municipio para descansar, lo cual, ha generado que el campo este dominado por personas de la tercera edad, cuya condición física le reduce la capacidad para desarrollar actividades productivas. Por consiguiente, el incremento en las áreas de cultivos puede frenarse. Todo indica que las fincas serán divididas y se convertirán en sitios para el descanso familiar. En consecuencia, se dará un incremento en los servicios culturales pero una disminución en los de provisión y regulación, lo cual contribuye al aumento de los efectos adversos del cambio climático.

6. Conclusiones

Se determinó que los servicios ecosistémicos se ven afectados negativamente por los procesos de cambio en la estructura del paisaje, además que éstos son la base para el desarrollo de actividades productivas que contribuyen al bienestar humano. Si los productores entienden este concepto, preservarían más aquellos elementos del paisaje que los proporcionan.

Este estudio contribuye a resaltar la importancia de los bosques para la oferta de servicios ecosistémicos, ya que se encontró que la pérdida de esta cobertura llevó a la disminución progresiva de los servicios.

Estudiar los servicios ecosistémicos desde la percepción de los productores contribuye a entender las dinámicas o razones que llevan al cambio de la estructura del paisaje, ya que, si solo se estudian los servicios desde la percepción de expertos, se ignoran aspectos importantes de la relación territorio comunidad.

Se observó, que los productores asocian más los servicios de regulación a la cobertura de bosque, debido a que tienen una concepción diferente del mismo. Ellos consideran que el bosque, son solo los árboles que acompañan sus cultivos, desde su perspectiva, el bosque natural son áreas de "monte" que bien pudieran aprovecharse para cultivar.

La pérdida acelerada de los bosques del municipio obedece a la falta de interés y desarticulación, por parte de las instituciones locales y los productores, en la ejecución de acciones de conservación y procesos de restauración que garanticen la continuidad de esta cobertura.

7. Recomendaciones

Tener en cuenta este tipo de estudios en procesos de construcción y toma de decisiones sobre el ordenamiento del territorio y uso de los recursos naturales, es de vital importancia para lograr la articulación entre quienes formulan los proyectos y los actores que modifican directamente el territorio.

Referencias Bibliográficas

Abouhamad, S. D. L., Rojas, M., Méndez, J., Salazar, K., y Salmerón, A. (2017). Servicios ecosistémicos de regulación que benefician a la sociedad y su relación con la restauracion ecológica. *Biocenosis*, *31*(1–2), 80–92. Recuperado de https://revistas.uned.ac.cr/index.php/biocenosis/article/download/1731/1958

Aguilera, F. (2010). Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el Área Metropolitana de Granada. *Anales de Geografía*, *30*(2), 9–29. Recuperado de https://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/view/AGUC1010220009A

Andrade C., H. J., Segura M, M. A., y Sierra R., E. (2017). Percepción local de los servicios ecosistémicos ofertados en fincas agropecuarias de la zona seca del norte del Tolima, Colombia. *Luna Azul*, 45(1), 42–58. Recuperado https://doi.org/10.17151/luaz.2017.45.4

Armenteras, D., y Vargas, O. (2016). Patrones del paisaje y escenarios de restauración en Colombia: Acercando escalas. *Acta Biológica Colombiana*, *21*(1), 229–239. Recuperado de https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/50848

Balthazar, V., Vanacker, V., Molina, A., y Lambin, E. F. (2015). Impacts of forest cover change on ecosystem services in high Andean mountains. *Ecological Indicators*, *48(1)*, 63–75 https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.07.043

Balvanera, P., y Cotler, H. (2007). Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta Ecológica*, *Vol especia*l, 8–15. Recuperado de http://www.infobosques.com/descargas/biblioteca/184.pdf

Balzarini, M., González, L., Tablada, M., Casanoves, F., Di Rienzo, J., y Robledo, C. (2001). *InfoStat software estadístico manual del usuario*. Recuperado de https: https://www.researchgate.net/publication/283569520

Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F., y Windhorst, W. (2009). Landscapes Capacities to Provide Ecosystem Services a Concept for Land-Cover Based Assessments. *Landscape Online*, *15(1)*, 1–22. https://doi.org/10.3097/LO.200915

Camacho, V., y Ruíz, A. (2011). Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *Bio ciencias, 1(1),* 3–15. Recuperado de http://revistabiociencias.uan.edu.mx/index.php/BIOCIENCIAS/article/viewFile/19/17

Carrizosa, J. (2003). *Colombia de lo imaginario a lo complejo. Reflexiones y notas acerca de abiente, desarrolloy paz* (1a ed.). Bogotá, D. C., Colombia: Universidad Nacional de Colombia: Instituto de Estudios Ambientales-IDEA.

Cholan, N. (2018). *Metodología para identificar la variación espacio-temporal de la cobertura vegetal mediante las técnicas de la geomática, Valle de Cañete*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. Recuperado de http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3382

Chuvieco, E. (1995). *Fundametos de teledeteccion espacial*. Recuperado de http://pdfhumanidades.com/sites/default/files/apuntes/FUNDAMENTOS-DE-TELEDETECCION-EMILIO-CHUVIECO.pdf

Clavijo, C. (2018). *Identificación de servicios ecosistémicos basados en el análisis de escenarios de futuro de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta.* (Tesis de pregrado).Universidad del Magadalena, Santa Marta, Colombia. Recuperado de http://repositorio.unimagdalena.edu.co/jspui/bitstream/123456789/1567/1/BB-00138.pdf

Collazos Silva, E. M. (2018). *Incidencia de la biodiversidad en la productividad de sistemas agroforestales con café en los departamentos de Amazonas y San Martín*.(Tesis de maestría). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, Amazonas. Recuperado de epositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/1369/Collazos%20Silva%20Erick.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Corredor, X. (s/f-a). AcATaMa. Recuperado el 10 de octubre de 2019, de https://smbyc.bitbucket.io/qgisplugins/acatama/

Corredor, X. (s/f-b). Cloud Masking. Recuperado de smbyc.github.io/CloudMasking/

Daily, J. (1997). *What Are Ecosystem Services?, En Nature's Services Societal Dependence on Natural Ecosystems.* Recuperado de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/30726246/Daily_1.pdf?response-content-disposition=inline%3B

filename%3DNatures_services_societal_dependence_on.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20191107%2Fus-east-

Departamento Nacional de Estadistica, (2019). Geoportal del 3cer censo nacional agropecuario. Bogotá D.C.: DANE. Recuperado de http://geoportal.dane.gov.co/geocna/#

De Groot, R., Wilson, M., y Boumans, R. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, *41*(3), 393–408. https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7

Esse, C., Valdivia, P., Encina-Montoya, F., Aguayo, C., Guerrero, M., y Figueroa, D. (2014). Modelo de análisis espacial multicriterio (AEMC) para el mapeo de servicios ecosistémicos en cuencas forestales del sur de Chile. *Bosque*, *35*(3), 289–299. https://doi.org/10.4067/S0717-92002014000300004

Etter, A. (1990). Introducción a la Ecología del Paisaje: un marco de integración para los levantamientos ecológicos. *Instituto Geográfico Agustín Codazzi*, (October), 10–41. https://doi.org/10.13140/2.1.4464.5121

Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., … Snyder, P. K. (2005). Global consequences of land use. *Science*, *309*(5734), 570–574. https://doi.org/10.1126/science.1111772

Gibbs, H. K., Ruesch, A. S., Achard, F., Clayton, M. K., Holmgren, P., Ramankutty, N., y Foley, J. A. (2010). Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. *PNAS*, *107*(38), 1–6. https://doi.org/10.1073/pnas.0910275107

Giraldo, E. A., Osorio, L. F., y Tobon, M. M. (2015). Los servicios ecosistémicos en el ordenamiento ambiental del suelo suburbano del municipio de Pereira, estudio de caso. *Luna Azul*, *40(1)*, 240–259. https://doi.org/10.17151/luaz.2015.40.16

Grajales, A., y Guerrero, Y. (1999). *Esquema de ordenamiento territorial urbano para el municipio de El Colegio, Cundinamarca*. Recuperado de http://elcolegiocundinamarca.micolombiadigital.gov.co/sites/elcolegiocundinamarca/content/files/000088/4356_pdm-para-el-concejo--definitivo-31-mayo.pdf

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Bogotá, D. C.: IDEAM.

Instituto Humboldt. (Productor). (2010a). ¿Qué son los servicios ecosistémicos? [DVD] Recuperado el 9 de noviembre de 2019, de https://www.youtube.com/watch?v=549BI3LcQAA

Instituto Humboldt. (Productor). (2010b). Servcios ecosistémicos culturales [DVD]. Recuperado el 9 de noviembre de 2019, de https://www.youtube.com/watch?v=iBDyW0K_Fgc

Instituto Humboldt. (Productor). (2010c). Servicios ecosistémicos de provisión [DVD]. Recuperado el 9 de noviembre de 2019, de https://www.youtube.com/watch?v=pHqpzMinkWM

Instituto Humboldt. (Productor). (2010d). Servicios ecosistémicos de regulación [DVD]. Recuperado el 9 de noviembre de 2019, de https://www.youtube.com/watch?v=-BMtiYzpxM8

Instituto Humboldt. (Productor). (2010e). Servicios ecosistémicos de soporte [DVD]. Recuperado el 9 de noviembre de 2019, de https://www.youtube.com/watch?v=oL4wb2vzETo

Landis, J. R., y Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, *33*(1), 159–174. https://doi.org/10.2307/2529310

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). *Política Nacional de Gestión de la Biodiversidad*. *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Bogotá, D. C., Colombia: MADS: Programa de Comunicaciones, Instituto Humboldt. Recuperado de http://www.humboldt.org.co/images/documentos/pdf/documentos/pngibse-espaol-web.pdf

Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis : a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, *20*(7), 703–726. https://doi.org/10.1080/13658810600661508

Martín, B., y Montes, C. (2011). Biodiversidad y servicios de los ecosistemas. Los sistemas

socioecológicos: entendiendo las relaciones entre la biodiversidad y el bienestar humano. *Biodiversidad en España: base de la sostenibilidad ante el cambio global. Observatorio de la Sostenibilidad en España*, v25, 444–465. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/285041508_Biodiversidad_y_servicios_de_los_ecosistemas

Mashini, D., y Bannen, P. (2014). *Plan de integración de los cerros isla de Santiago a una matriz ecológica* (Tesis de Maestría). Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales (IEUT), Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile Recuperado de http://estudiosurbanos.uc.cl/images/tesis/2014/MDU_Dominique_Mashini.pdf

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto Ley 2811 del 1974. Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. (1974). Colombia.: MAVDT

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto 2372 de 2010, 2010 Diario Oficial No. 47.757 § (2010). Colombia.: MAVDT

McGarigal, K., y Marks, B. J. (1995). *FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. https://doi.org/https://doi.org/10.2737/PNW-GTR-351

Meza, M. C., y Armenteras, D. (2018). Uso del suelo y estructura de la vegetacion en paisajes fragmentados en la Amazonia, Colombia. *Colombia Forestal*, *21*(2), 205–223. https://doi.org/https://doi.org/10.14483/2256201X.12330

Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. *Millennium Ecosystem Assessment*. Washington DC, USA: World Resources Institute. Recuperado de https://www.millenniumassessment.org/documents/document.354.aspx.pdf

Ministerio del Medio Ambiente. (1993). *Ley 99 De 1993*. *Diario Oficial*. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Montes, C., Santos, F., Aguado, M., Martín, B., González, J., Benayas, J., … Díaz, F. (2011). *Ecosistemas y biodiversidad para el bienestar humano Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España: Síntesis de Resultados*. (L. Garrido, Ed.), *Fundación Biodiversidad* (Vol. 66). Madrid: Fundación Biodiversidad,Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural

y Marino. https://doi.org/10.13140 / 2.1.2799.9362

Moyano, M. (2016). *Aproximación a la valoración socio-cultural de los servicios ecosistémicos en el territorio del Municipio de Villavicencio – Meta (Colombia)*. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana.Bogotá, Colombia. Recuperado de https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/21131/MoyanoGarzonManuelAlejandro2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Müller, F., de Groot, R., y Willemen, L. (2010). Ecosystem services at the landscape scale: the need for integrative approaches. *Landscape Online*, *23*(1), 12. https://doi.org/10.3097/LO.201023

Muñoz, J., Camargo, J. C., y Romero, C. (2017). Beneficios de los bosques de guadua como una aproximación a la valoración de servicios ecosistémicos desde la "Jerarquización y Calificación". *Gestión y Ambiente*, *20*(2), 222–231. https://doi.org/10.15446/ga.v20n2.66603

Murillo, A. (2017). *Análisis de cambio de cobertura y uso actual de la tierra con imágenes satelitales del distrito de Llacanaora periodo 2001 - 2016*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú. Recuperado de http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1687%09

Navarro, A. M. (2012). *Evaluación participativa del aporte de fincas integrales a los servicios ecosistémicos y a la calidad de vida de las familias en el Área de Conservación Tortuguero, Costa Rica*. (Tesis de maestría). Escuela de Posgrado CATIE., Turrialba, Costa Rica. Recuperado de http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5080/Evaluacion_participativa.pdf;jsessionid=7952A5721F9C92769BBCD05D0CD381CF?sequence=1

Navarro, C., y Villamil, J. (2016). *Estudio de alternativas para la Disposición de Residuos Sólidos en el Municipio de El Colegio Cundinamarca*. (Tesis de pregrado). Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia. Recuperado de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1092&context=ing_civil

Olofsson, P., Foody, G. M., Stehman, S. V., y Woodcock, C. E. (2013). Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation. *Remote Sensing of Environment*, Vol129, 122–131. https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.031

Quétier, F., Tapella, E., Conti, G., Caceres, D., y Díaz, S. (2007). Servicios ecosistemicos y actores sociales. Aspectos conceptuales y metodologicos para un estudio interdisciplinario. *Gaceta ecologica*, *84(85)*, 17–27. Recuperado de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2873777

Ramírez, M. F., y López, D. E. (2016). *Valoración participativa de servicios ecosistemicos prestados por el humedal RAMSAR de lago Apanas y Asturias, Jinotega II semestre del 2015*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autonoma de Nicaragua. Matagalpa. Recuperado de http://repositorio.unan.edu.ni/2982/

Rincón, A., Echeverry, M., Piñeros, A., Tapia, C., Drews, A., Arias, P., y Zuluaga, P. (2014). *Valoración integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos : aspectos conceptuales y metodológicos*. *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAVH)*. Bogotá, D. C., Colombia. Recuperado de http://hdl.handle.net/20.500.11761/32547

Rincon, A., Lara, D., Castro, L. G., y Rojas, C. (2016). Conflictos socioambientales y servicios ecosistémicos en la cuenca del río Orotoy: Reflexiones para su gestión. *Ambiente y Sostenibilidad*, 6*(1)*, 3–16. https://doi.org/10.25100/ays.v0i0.4285

Rojas, P. A. (2018). *Identificación de la provisión potencial de servicios ecosistemicos en la localidad de Vodudahue, Fiordo Comau, Región de Los Lagos*. (Tesis de pregrado). Universidad de Chile. Santiago, Chile. Recuperado de http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/170452

Ruíz, M., Buttkus, E., Ana, E., Hernández, M., Muñoz, L., López, J., … Arango, J. (2009). *Guía para la elaboración de planes de manejo de Reservas Naturales de la Sociedad Civil*. *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Parques Nacionales Naturales de Colombia* (1a ed.). Bogotá D.C., Colombia: Parques Nacionales Naturales de Colombia. Recuperado de http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2015/04/Guia-Plan-de-Manejo-RNSC.pdf

Sacristán, F. (2006). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental Introducción. *AquaTic*, *24(1)*, 13–41.

Sánchez, Á., Ulloa, K., y Almonacid, R. (2012). El impacto de la producción de café sobre la

biodiversidad, la transformacion del paisaje y las especies exoticas invasoras. *Ambiente y Desarrollo*, *16*(30), 93–104. Recuperado de https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/ambienteydesarrollo/article/view/3198

Sánchez, H. A., y Solís, O. A. (2016). *Análisis de la estructura del paisaje y su relacion con la ocupacion del territorio duranre los años 1976-2013 en el Distrito de Cahuita, Talamanca*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Costa Rica. Heredia, Costa Rica. Recuperado de http://www.geo.una.ac.cr/phocadownload/Trabajo_de_Graduacion/2016/alonsoSolis_alonsoSanchez.pdf

Servicio Geológico de Estados Unidos. (s/f-a). *Misiones Landsat: Landsat 5*. Estados Unidos.: USGS. Recuperado el 10 de noviembre de 2019, de https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-5?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con

Servicio Geológico de Estados Unidos. (s/f-b). M*isiones Landsat: Landsat 8*. Estados Unidos.: USGS. Recuperado el 10 de noviembre de 2019, de https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con

Simonetti, D., Marelli, A., y Eva, H. (2015). *IMPACT toolbox*. https://doi.org/10.2788/143497

Tolessa, T., Senbeta, F., y Kidane, M. (2017). The impact of land use/land cover change on ecosystem services in the central highlands of Ethiopia. *Ecosystem Services*, *23*(June 2016), 47–54. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.11.010

Turner, M. G., & Gardner, R. H. (2015). *Landscape Ecology in Theory and Practice*. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2794-4

Valle Oña, J. R. (2018). *Evaluacion del aporte de las fincas de la parroquia Bellavista a los servicios ambientales mas importantes que implican el cuidado y proteccion del ecosistema en la isla Santa Cruz, Galapagos* (Tesis de pregrado). Universidad Central de Ecuador, Ecuador. Recuperado de http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/16166/1/T-UCE-0017-SGA-007.pdf

Vásquez Santamaría, J. E. (2015). El paisaje como determinante de superior jerarquía para los

planes de ordenamiento territorial. *Estudios de Derecho, 72*(160). https://doi.org/10.17533/udea.esde.v72n160a10

Veloza, J. (2017). *Análisis multitemporal de las coberturas de usos del suelo de la reserva forestal protectora-productora "Casablanca" en Madrid Cundinamarca entre los años 1961 y 2015: Aportes para el ordenamiento territorial municipal*. Tesis de especialización. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Recuperado de https://ciaf.igac.gov.co/sites/ciaf.igac.gov.co/files/files_ciaf/Veloza-Torres-Jenny-Patricia.pdf

Vieira, M., y Castillo, D. (2010). Designing and implementing a Role-Playing Game: A tool to explain factors, decision making and landscape transformation. *Environmental Modelling and Software, 25*(11), 1322–1333. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.03.015

Vilardy, S., González, J., Martín, B., Renan, W., Oteros, E., Silva, F., … Cuadrado, B. (2011). *Repensando la ciénaga: nuevas miradas y estrategias para la sostenibilidad en la Ciénaga Grande de Santa Marta*. *Universidad Autónoma del Magdalena; Universidad Autónoma de Madrid* (1a ed.). Santa Marta, Colombia: Universidad del Magdalena. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/260249297_Repensando_La_Cienaga_nuevas_miradas_y_estrategias_para_la_sostenibilidad_en_La_Cienaga_Grande_de_Santa_Marta

Vilardy, S. P., Martín, B., Oteros, E., y Montes, C. (2012). Los servicios de los ecosistemas de la Reserva de Biosfera Ciénaga Grande de Santa Marta. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica, 19*(06), 66–83. Recuperado de https://redibec.org/ojs/index.php/revibec/article/view/199/89

World Wildlife Found - WWF. (2018a). ¿Quiénes Somos? Recuperado el 9 de noviembre de 2019, de http://www.wwf.org.co/about_us/programa_colombia_/

World Wildlife Found -WWF. (2018b). Glosario ambiental: servicios ecosistémicos. Recuperado el 9 de noviembre de 2019, de http://www.wwf.org.co/?uNewsID=324210