

**Incidencia del Cambio en la Cobertura de la Tierra del Alto Río Sogamoso en  
el Marco del Desarrollo Territorial Sostenible**

**Trabajo de Grado para Optar el Título de Doctor en Desarrollo Sostenible**

**Universidad de Manizales**

**Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas**

**Doctorado en Desarrollo Sostenible**

**Mayo 2021**

**Incidencia del Cambio en la Cobertura de la Tierra del Alto Río Sogamoso en  
el Marco del Desarrollo Territorial Sostenible**

**José David Peñuela Lizcano**

**Trabajo de Grado para Optar el Título de Doctor en Desarrollo Sostenible**

**Director**

**Julio César Acosta Prado**

**Codirector**

**Milton Hernán Romero Ruiz**

**Universidad de Manizales**

**Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas**

**Doctorado en Desarrollo Sostenible**

**Mayo 2021**

**“Se buscan nuevas miradas y nuevas instituciones que valoricen el protagonismo social, los saberes más localizados y lógicas más inclusivas y menos depredadoras”**

## **Agradecimientos**

El autor expresar sus agradecimientos a:

DIOS, por haberme iluminado el camino en los momentos de oscuridad.

A mi esposa y a mi familia por su comprensión y apoyo incondicional.

A Julio Cesar Acosta Prado y Milton Hernán Romero Ruiz por sus orientaciones, buenos consejos, voz de aliento y aportes de sus conocimientos como directores de tesis.

Al doctor Ciro Alfonso Serna Mendoza director del Doctorado en Desarrollo Sostenible por su contribución científica y su apoyo.

A mis amigos, por su voz de ánimo en los momentos difíciles.

A la Universidad Cooperativa de Colombia UCC/sede Bucaramanga por su apoyo financiero y académico.

A la Corporación Autónoma Regional de Santander - CAS por el material compartido y al Instituto geográfico Agustín Codazzi - IGAC por las imágenes satelitales suministradas.

## Tabla de Contenido

	<b>Pág.</b>
Resumen Ejecutivo .....	12
Introducción.....	17
I. Diseño Teórico .....	22
1.1 Título del Trabajo .....	22
1.2 Pregunta de Investigación.....	22
1.2.1 Preguntas Auxiliares de Investigación .....	22
1.3 Descripción del Área Problemática .....	22
1.4 Antecedentes Investigativos .....	28
1.4.1 Principales Antecedentes Internacionales .....	28
1.4.2 Principales Antecedentes Nacionales .....	31
1.4.3 Principales Antecedentes Regionales y Locales.....	35
1.5 Justificación de la Investigación. Aportes Prácticos, Teóricos y Metodológicos .....	38
1.6 Objetivos.....	44
1.6.1. Objetivo General.....	44
1.6.2. Objetivos Específicos .....	44
1.7 Supuestos y Categorías de Análisis .....	44
1.7.1 Supuesto Central.....	45
1.7.1.1 Supuestos Auxiliares de Investigación .....	45
1.7.2. Categorías de Análisis .....	45
1.7.2.1. Principales Variables. ....	46
II. Fundamentación Teórica y Conceptual .....	48
2.1. Cobertura de la Tierra.....	48
2.1.1 Génesis del Concepto Cambio en la Cobertura de la Tierra.....	48
2.1.2 Cambio en la Cubierta de la Tierra/Uso de Suelo .....	49
2.2. Unidades Hidrográficas de Nivel 1 Como Unidad de Análisis .....	51
_Toc758781422.2.1 Unidades Hidrográficas de Nivel 1 y los Sistemas Socioecológicos .53	
2.2.2 Unidades Hidrográficas de Nivel 1 y la Evolución Teórica de los Servicios Ecosistémicos .....	56
2.2.3 El Recurso Hídrico como Elemento Vinculante del Desarrollo Sostenible .....	64

2.2.4 Desarrollo Sostenible, Sistemas Socioecológicos y Unidades Hidrográficas de Nivel 1 .....	67
2.3 Herramientas Empleadas para el Análisis de Información .....	69
2.3.1 Percepción Remota y Sistemas de Información Geográficos (SIG).....	69
2.3.2 Métricas de la Ecología del Paisaje .....	70
2.3.4 Modelamiento y Simulación del CCUS con Dinámica Ego.....	72
III. Diseño Metodológico .....	74
3.1. Tipo de Investigación .....	74
3.1.1 Método.....	75
3.2. Unidad de Trabajo y Unidad de Análisis.....	76
3.3. Procedimiento de la Investigación.....	78
3.3.1 Fase de Indagación y Consulta .....	79
3.3.2. Fase de Construcción Cartográfica e Insumos Claves.....	80
3.3.3 Fase de Análisis e Interpretación de la Información .....	97
3.4. Técnicas e Instrumentos .....	98
3.4.1 Técnicas de Investigación.....	98
3.4.2 Instrumentos de Investigación .....	101
IV. Principales Resultados Obtenidos .....	102
4.1 Objetivo específico 1: Identificar el Cambio en la Cobertura de la Tierra en las Unidades Hidrográficas de Nivel 1 del Alto Río Sogamoso .....	102
4.1.1. Análisis por Tipo de Cobertura Vegetal Identificada, Según Periodo de Tiempo ...	102
4.1.2. Análisis de las Ganancias, Pérdidas y Cambio Neto, según Tipo de Cobertura Vegetal .....	108
4.1.3. Principales Resultados Obtenidos por UHN1 .....	112
4.1.4 Análisis de la Intensidad de Cambio de las Coberturas Vegetales - Según Periodo de Tiempo.....	120
4.1.5 Análisis de la Estabilidad del Cambio.....	125
4.2. Objetivo específico 2: Determinar la Contribución de la Delimitación por UHN1 del Alto Río Sogamoso.....	128
4.2.1 Análisis de la Fragmentación .....	128
4.2.2 Principales Aportes Encontrados por UHN1 - Cruce de Información: POT/PBOT/EOT, SIPRA y el IGAC .....	132

4.2.3 Aporte de los Resultados Obtenidos al Desarrollo Sostenible .....	135
4.3 Objetivo específico 3: Contrastar mediante modelación y generación de escenarios futuros acciones de mejora para el ordenamiento territorial en las unidades hidrográficas de nivel 1 del alto río Sogamoso con los instrumentos de ordenamiento territorial vigente. .	138
4.3.1 Principales Acciones por Tipo de Escenario .....	145
4.4 Discusión y Conclusiones.....	147
4.5.1. Recomendaciones .....	161
4.5.2 Futuras Líneas de Investigación .....	166
4.6 Bibliografía.....	167
Lista de Anexos .....	182

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1 Organigrama Metodológico .....	78
Figura 2 Pasos Utilizados por Dinámica Ego para el Modelamiento del CCUS .....	88
Figura 3 Tendencia Definida de una Variable con Dinámica Ego .....	93
Figura 4 Tasa de cambio anual de las AAT y AN, según periodo multitemporal.....	103
Figura 5 Tasa de Cambio Anual por tipo de cobertura, Según Periodo multitemporal objeto de estudio.....	107
Figura 6 Participación % por UHN1 .....	113
Figura 7 Coberturas ganadoras por periodo de tiempo.....	121
Figura 8 Coberturas perdedoras, según periodos multitemporales.....	122
Figura 9 Transiciones Sistemáticas de las Coberturas Vegetales .....	124
Figura 10 Indicador obtenido según tipo de cobertura natural .....	132
Figura 11 Mapas Simulados al 2030, Escenario Futuro de Tendencia .....	139
Figura 12 Mapas Simulados al 2030, Escenario Futuro Optimista o Deseado .....	140
Figura 13 Mapas Simulados al 2030, Escenario Futuro Pesimista o no Deseado.....	141

## Lista de Tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Principales Actividades Antropogénicas por Componentes.....	36
Tabla 2 Categorías de Análisis y Variables.....	46
Tabla 3 Imágenes Satelitales Empleadas.....	83
Tabla 4 Variables Explicativas o Motores Propulsores del Cambio Empleadas en la Modelación.....	91
Tabla 5 Cambios Encontrados por Tipos de Cobertura en la Parte Alta de Cuenca del Río Sogamoso - Periodos 2005-2013 y 2013-2019.....	104
Tabla 6 Ganancias, Pérdidas y Cambio Neto - Periodo 2005-2013 .....	108
Tabla 7 Ganancias, Pérdidas y Cambio Neto, Periodo 2013-2019 .....	111
Tabla 8 Comportamiento de la UHN1 del Río Chucurí, Según Periodo de Análisis.....	114
Tabla 9 Comportamiento de la UHN1 Directos al Sogamoso, Según Periodo de Análisis	115
Tabla 10 Comportamiento de la UHN1 la Betuliana, Según Periodo de Análisis .....	116
Tabla 11 Comportamiento de la UHN1 Hidrosogamoso, Según Periodo de Análisis.....	117
Tabla 12 Comportamiento de la UHN1 Aguablanca y Pujaman, Según Periodo de Análisis .....	119
Tabla 13 Indicadores GP y LP, Periodo 2005-2019.....	126
Tabla 14 Evaluación Integral del Ecosistema, Según las Métricas de Paisaje Obtenidas Año 2013 y 2019 .....	129
Tabla 15 Aptitud Productiva de Cacao, Carne y Leche Bovina, Avícola y Porcicola de la UHN1 Río Chucurí, Municipio de San Vicente de Chucurí .....	133
Tabla 16 Aptitud Productiva de Carne y Leche Bovina por Municipio.....	134

Tabla 17 Tipos de Conflictos por UHN1.....	134
Tabla 18. Pesos de Evidencia por Transición y Tipo de Variable Explicativa en la Modelación de los Escenarios Futuro.....	143

### **Lista de Abreviaturas y Siglas**

AAB – Áreas Abiertas

AAH - Áreas Agrícolas Heterogéneas

ANDI – Asociación Nacional de Industriales

ANLA – Agencia Nacional de Licencias Ambientales

BD y GAL – Bosque Denso y de Galería

BF – Bosque Fragmentado

CAA – Cuerpos de Agua Artificiales

CAP - Cultivos Agroforestales y Permanentes

CAS – Corporación Autónoma Regional de Santander

CCUS – Cambio de Cobertura de la tierra/Usos del Suelo

CDMB – Corporación Autónoma para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga

CVN – Cobertura Vegetal Natural

CVSN - Cobertura Vegetal Semi Natural

DANE – Departamento Nacional de Estadística

DS – Desarrollo Sostenible

EOT – Esquemas de Ordenamiento Territorial

EMBAL - Embalse

GEI - Gases de Efecto Invernadero

H-ARB - Herbazales y Arbustales

ISAGEN – Empresa Estatal Generadora, Productora y Comercializadora de Energía

IDEAM – Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

IGAC – Instituto Geográfico Agustín Codazzi

LP, AR y ENM – Pastos: Limpios, con Árboles y Enmalezados

NB – Nubes

ODS – Objetivos del Desarrollo Sostenible

ONU – Organización de Naciones Unidas

PBOT – Planes Básicos de Ordenamiento Territorial

POMCA – Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas

POT – Planes de Ordenamiento Territorial

PF – Plantaciones Forestales

REAA – Registro Único de Ecosistemas y Áreas Ambientales

RUNAP – Registro Único Nacional de Áreas Protegidas

SA – Superficies de Agua

SE – Servicios Ecosistémicos

SSE – Sistemas Socioecológicos

SIG – Sistema de Información Geográfico

SIPRA – Sistema de Información para la Planificación Rural Agropecuaria

TA – Territorios Artificializados

UICN – Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

UHN1- Unidad Hidrográfica de Nivel 1

VST – Vegetación Secundaria o en Transición

## Resumen Ejecutivo

Esta investigación tiene como objetivo principal analizar la incidencia del cambio en la cobertura de la tierra en las unidades hidrográficas de nivel 1 del alto río Sogamoso en el marco del desarrollo territorial sostenible, periodo 2005-2019. Ante la continua y agreste intervención del hombre en la cuenca del río Sogamoso o área objeto de estudio, sector denominado parte alta o aguas arriba del embalse Topocoro-Hidrosogamoso; la cual ocupa una extensión de 138.534,91 hectáreas e integrada por seis unidades hidrográficas de nivel 1 (UHN1), ver el anexo 1.

Se plantea la pregunta de investigación de ¿cómo repercute el cambio en la cobertura de la tierra en las unidades hidrográficas de nivel 1 del alto río Sogamoso en el marco del desarrollo territorial sostenible?, partiendo del **supuesto que el ordenamiento territorial vigente está conforme con las acciones propuestas por unidad hidrográfica de nivel 1 para un manejo adecuado en la cobertura de la tierra**. Buscando dar respuesta a la problemática experimentada en el periodo 2005-2019, la cual generó deterioro económico, social, cultural, desinstitucionalización y tensiones ambientales (ASOPESAMM, 2015; POMCA río Sogamoso 2016).

Metodológicamente, se concibe un método hipotético deductivo de investigación de corte mixto (cuantitativo-cualitativo) con un tipo de estudio de corte multitemporal para los periodos 2005-2013-2019, empleando las herramientas ArcGis 10.5 como sistema de información geográfico (SIG) y Fragstats Versión 4.2 para el cálculo de métricas del paisaje necesarias para chequear la estructura, composición y funcionalidad del ecosistema objeto de estudio. También se empleó la herramienta Dinámica Ego, la cual permitió generar un modelo básico para simular la deforestación, creándose así el primer escenario futuro de

tendencia. Posteriormente, teniendo en cuenta este primer modelo, se crearon otros dos escenarios futuros: el optimista (deseable) y pesimista (no deseable).

La novedad de la presente investigación radica en la relación; cambio en la cobertura de la tierra delimitada por UHN1 en el alto río Sogamoso y su aporte al ordenamiento territorial. Las fuentes consultadas consistieron en la obtención de las coberturas vegetales a escala 1:25.000 (según la metodología Corine Land Cover) del área objeto de estudio derivadas de la clasificación supervisadas de imágenes satelitales de los años 2005-2007, 2010-2013 y 2019, mientras las fuentes secundarias se soportaron en la revisión bibliográfica de artículos científicos del CCUS en bases de datos acreditadas, revisión documental de los POTs, EBOT, EOT de los organismos territoriales ubicados en el área objeto de estudio y documento técnico POMCA del río Sogamoso 2018.

Entre los principales resultados obtenidos se evidencia que no solo las presiones endógenas del territorio son los motores impulsores del cambio, si no también, las fuerzas globales; las cuales demandan una mayor oferta de bienes y servicios, entre ellos una mayor generación de energía eléctrica. Además, se encontraron tasas anuales de cambio que oscilan entre el -0,43 (periodo 2005-2013) hasta el -1,23 (periodo 2013-2019) en áreas generadoras de servicios ecosistémicos (SE), como lo son las coberturas vegetales naturales (CVN) y seminaturales. Las transiciones sistemáticas identificadas demuestran una tasa de cambio o de deforestación del -1.23 para el periodo 2013-2019 y del -0.43 para el periodo 2005-2013 en las (CVN), frente a tasas de cambio del 0.84 y del 2.15 (periodo 2013-2019) en comparación con las áreas artificializadas o intervenidas. Otro de los resultados encontrados es el potencial que Dinámica EGO posee como herramienta imprescindible en los procesos de planeación, ordenamiento territorial y gestión ambiental, ya que, no solo permite interpretar y deducir el impacto de las variables propulsoras del CCUS, si no también; la

construcción de escenarios futuros vitales para la concepción y construcción de territorios sostenibles.

Finalmente, la investigación busca generar conocimiento y nuevas líneas de investigación en pro del desarrollo sostenible (DS) desde el enfoque de los servicios ecosistémicos (SE) y su vital importancia para la construcción de un desarrollo humano con calidad de vida en un mundo cada vez más globalizado.

**Palabras Clave.** Cobertura de la tierra, dinámicas de apropiación, desarrollo sostenible, servicios ecosistémicos, embalse Topocoro-Hidrosogamoso.

### **Executive Summary**

The main objective of this research is to analyze the incidence of land cover change in the hydrographic units of level 1 of the upper Sogamoso River in the framework of sustainable territorial development, period 2005-2019. In view of the continuous and aggressive human intervention in the Sogamoso river basin or area under study, sector called upper part or upstream of the Topocoro-Hidrosogamoso reservoir; which occupies an extension of 138,534.91 hectares and is integrated by six level 1 hydrographic units (UHN1), see Annex A.

The research question of how does the change in land cover in the level 1 hydrographic units of the upper Sogamoso River impact the framework of sustainable territorial development, based on the assumption that the current land use planning is in accordance with the actions proposed by level 1 hydrographic unit for an adequate management of land cover. Seeking to respond to the problems experienced in the 2005-2019 period, which generated economic, social, cultural deterioration, deinstitutionalization and environmental tensions (ASOPESAMM, 2015; POMCA Sogamoso River 2016).

Methodologically, a hypothetical deductive research method of mixed cut (quantitative-qualitative) with a multitemporal type of study for the periods 2005-2013-2019 was conceived, using ArcGis 10.5 tools as a geographic information system (GIS) and Fragstats Version 4.2 for the calculation of landscape metrics necessary to check the structure, composition and functionality of the ecosystem under study. The Ego Dynamics tool was also used to generate a basic model to simulate deforestation, thus creating the first future trend scenario. Subsequently, taking into account this first model, two other future scenarios were created: optimistic (desirable) and pessimistic (undesirable).

The novelty of the present research lies in the relationship; change in land cover delimited by UHN1 in the upper Sogamoso River and its contribution to land use planning or sustainable territorial development framework. The sources consulted consisted of obtaining vegetation cover at a scale of 1:25,000 (according to the Corine Land Cover methodology) of the area under study derived from the supervised classification of satellite images of the years 2005-2007, 2010-2013 and 2019, while the secondary sources were supported by the bibliographic review of scientific articles of the CCUS in accredited databases, documentary review of the POTs, EBOT, EOT of the territorial bodies located in the area under study and technical document POMCA of the Sogamoso River 2018.

Among the main results obtained, it is evident that not only the endogenous pressures of the territory are the driving forces of change, but also global forces, which demand a greater supply of goods and services, including greater generation of electricity. In addition, annual rates of change ranging from -0.43 (2005-2013 period) to -1.23 (2013-2019 period) were found in areas that generate ecosystem services (ES), such as natural and semi-natural vegetation cover (NVC). The systematic transitions identified demonstrate a rate of change or deforestation of -1.23 for the period 2013-2019 and -0.43 for the period 2005-2013 in the

(CVN), compared to rates of change of 0.84 and 2.15 (period 2013-2019) in comparison with artificialized or intervened areas. Another of the results found is the potential that EGO Dynamics has as an essential tool in the processes of planning, land use planning and environmental management, since it not only allows interpreting and deducing the impact of the CCUS propelling variables, but also the construction of vital future scenarios for the conception and construction of sustainable territories.

Finally, the research seeks to generate knowledge and new lines of research in favor of sustainable development (SD) from the ecosystem services (ES) approach and its vital importance for the construction of human development with quality of life in an increasingly globalized world.

**Keywords.** Land cover, appropriation dynamics, sustainable development, ecosystem services, Topocoro-Hidrosogamoso reservoir.

## Introducción

Los estudios relacionados con el CCUS son cada día más frecuentes y aceptados, ya que logran confirmar ¿cómo las actividades antropogénicas de la sociedad del conocimiento del siglo XXI transforman constantemente el territorio? Por lo general, dicha transformación territorial obedece a interés individuales y colectivos que propenden por una sociedad moderna y vanguardista que goza de ciertos niveles de crecimiento y bienestar socioeconómico (Bocco y Urquijo, 2013).

En consecuencia, con esta visión desarrollista, el departamento de Santander-Colombia en su ideal de ser un organismo territorial competitivo (tercero al 2030), ha sido empujado a una mayor transformación espacial. Así, las coberturas vegetales naturales (CVN) y las coberturas vegetales naturales seminaturales (CVSN) intervenidas en la parte alta del río Sogamoso vienen progresivamente reemplazándose por nuevas áreas socio productivas de vocación agropecuaria, esencialmente, por producción de servicios turísticos y energéticos, aprovechando unos de sus Servicios Ecosistémicos (SE), el caudal hídrico de las UHN1 que drenan sus aguas a la cuenca del río Sogamoso. **Sin duda alguna, la implementación del embalse “Topocoro-Hidrosogamoso” como enclave económico regional, se ha convertido en un artefacto que presiona a una mayor dinámica del CCUS; producto de la alta demanda energética nacional en función de la expansión urbanística y una mayor demanda alimentaria** (Santander Competitivo, 2017).

La transformación de las CVN y CVSN, no solo generan cambios en el corto, mediano y largo plazo, sino también reducción y degradación de los SE. La importancia de estudiar este tipo de fenómenos, **son para dimensionar y concebir el detrimento ambiental y su impacto en el contexto social, económico e institucional, son insumos esenciales para la toma de decisiones y construcción de políticas públicas en los procesos de**

**planeación y ordenamiento territorial con enfoques de sostenibilidad**, por ejemplo; para la mitigación del riesgo, el cambio climático y el abastecimiento de agua para el consumo humano (Lamprea, 2017).

La motivación investigativa surge: 1) a partir de la dinámica de transformación territorial multitemporal observada y la pérdida de riqueza/biodiversidad físico biótica del ecosistema, que se generó, antes y después de la construcción del embalse de “Topocoro-Hidrosogamoso” en la cuenca del río Sogamoso, es decir; como se cambió *normativamente* el uso del suelo para la generación y aprovechamiento de mayores oportunidades socioeconómicas, 2) los impactos sociales, económicos, ambientales, políticos e institucionales generados entre el 2008 al 2014, periodo de construcción y llenado del embalse, 3) la tendencia a un mayor cambio en la cobertura de la tierra por la dinámica del plan de usos alternativos del embalse, 4) la advertencia de una mayor variación climática en la región, según el Plan Integral de Gestión de Cambio Climático Territorial del Santander 2030, y 5) de las presiones territoriales que deben afrontar los organismos gubernamentales impactados en la próxima década, precisamente por el cambio en la cobertura de la tierra.

La novedad del presente estudio radica en la relación del cambio en la cobertura de la tierra delimitada por UHN1, sin perder de vista el objetivo de **¿Cómo contribuye la delimitación de las unidades hidrográficas de nivel 1 en el ordenamiento territorial?** Este tipo de estudios contribuyen significativamente en la construcción de políticas públicas, programas y proyectos de gestión ambiental relacionados con la deforestación de bosques como ecosistemas retenedores de depósitos o material que degrada la calidad y cantidad de los recursos hídricos (Auquilla et al. 2006), como también, la valoración de los SE y sus múltiples beneficios asociados al DS, posiblemente uno de los más importantes; la calidad y cantidad de agua dulce disponible, no solo para la reproducción del metabolismo mercantil

capitalista, sino para el desarrollo y calidad de vida de las poblaciones futuras (Correa, 2005, pp. 29-45).

Para analizar la incidencia del cambio en la cobertura de la tierra en las unidades hidrográficas de nivel 1 del alto río Sogamoso en el marco del desarrollo territorial sostenible, periodo 2005-2019. Se planteó: **¿cómo repercute el cambio en la cobertura de la tierra en las unidades hidrográficas de nivel 1 del alto río Sogamoso en el marco del desarrollo territorial sostenible?**, la cual se apoya en las siguientes preguntas auxiliares de investigación: ¿cuáles cambios ha mostrado la cobertura de la tierra en las unidades hidrográficas de nivel 1 en el alto río Sogamoso en el periodo 2005-2019? ¿cómo contribuye la delimitación por unidades hidrográficas de nivel 1 en el alto río? ¿cómo las acciones propuestas pueden contribuir a la sostenibilidad de las unidades hidrográficas de nivel 1 del alto río Sogamoso?

Metodológicamente, el tipo de investigación se considera de corte mixto, multitemporal por la tipología del objeto de estudio. El componente cuantitativo lo integran los datos numéricos del CCUS generados en los mapas de coberturas, según el periodo de tiempo, mediante el cotejo de las capas vectoriales en formato Shapefile-ráster del territorio, mientras el componente cualitativo integra la fenomenología de las actividades humanas. En este sentido, para el manejo de la información, el análisis territorial y la visualización de las dinámicas, se empleó el sistema de información geográfico (SIG) ArcGis 10.5, como también Fragstats versión 4.2 para el análisis de la estructura, composición y funcionalidad del ecosistema mediante la aplicación e interpretación de métricas de paisaje tipo clase. Para el modelamiento y simulación de la dinámica de cambio en el área objeto de estudio, se empleó el software Dinámica Ego; generándose un modelo básico que recreó la tendencia de la deforestación al año 2030, concibiéndose así, el primer escenario futuro de tendencia.

Consecutivamente, se generó un escenario futuro optimista, el cual modela y contrasta el aporte de las acciones propuestas en los procesos de conservación: restauración, rehabilitación, preservación y recuperación. Por último, se concibió un tercer escenario futuro denominado pesimista, donde se modela una dinámica mucho más agreste con una deforestación superior a la observada en el periodo 2005-2019. La construcción de dichos escenarios futuros pretende identificar y sustentar, ¿cuáles acciones pueden contribuir para el adecuado manejo de la cobertura de la tierra?, y por tanto al DS del territorio del área de estudio.

Los resultados obtenidos permitieron identificar la tasa de cambio en los diferentes tipos de coberturas, como también *las transiciones sistemáticas dominantes*, donde se puede deducir; la necesidad de implementar acciones de conservación, recuperación y preservación como estrategias de DS, con el fin de frenar la deforestación-degradación y su impacto en la calidad y cantidad de los SE, reconociendo que ellos poseen un valor estratégico para el alcance del DS. Así, por ejemplo; sin el SE de provisión de agua dulce es imposible la existencia de vida de cualquier especie viva, sin los SE de regulación del clima a diferentes escalas es inconcebible hablar de calidad de vida humana, lo mismo sucede sin los SE recreativos, culturales y espirituales. La importancia de garantizar el acceso a los SE a determinadas escalas sociales, garantiza un estatus quo de equidad, no solo económico, sino también intergeneracional.

**En consecuencia, la investigación busca generar conocimiento y nuevas líneas de investigación en pro del DS desde el enfoque de los SE y su vital importancia para la construcción de un desarrollo humano con calidad de vida en un mundo cada vez más globalizado.**

Cabe resaltar, que para abordar un ordenamiento territorial equitativo y pertinente en la parte Alta del río Sogamoso, se deben tener en cuenta los respectivos lineamientos de política pública contemplados en la ley 99 de 1993, ley 388 de 1997, ley 1454 de 2011, decreto 1640 de 2012 y Conpes 3870 de 2016, ya que ellos se complementan entre sí (no son excluyentes), para concebir un enfoque holístico e integrador más de carácter regional; esencialmente, por la distribución espacial de los ecosistemas estratégicos, esto no quiere decir, que se pierda lo local, necesariamente. Los aportes de los POTs, PBOT y EOT, son y continúan siendo muy importantes para el alcance de los ODS, ya que permiten no solo el ordenamiento territorial, sino también la planeación del crecimiento y el alcance del desarrollo sostenible en el mediano y largo plazo. Ya que se armonizan mediante la función público-social de los organismos territoriales, privilegiando la relación hombre – medio ambiente mediante la implementación de acciones estratégicas orientadas a una visión de desarrollo territorial sostenible, beneficiándose los actores territoriales.

Finalmente, la presente investigación se encuentra estructurada de la siguiente manera: el capítulo 1 contiene los aspectos relacionados con el diseño teórico, mientras, el capítulo 2 expone la fundamentación teórica y conceptual desarrollada. Posteriormente, el capítulo 3 explica la metodología empleada, para terminar; el capítulo 4 exhibe los principales resultados obtenidos, articulados de acuerdo con los objetivos y supuestos planteados. Por último, se relacionan las fuentes bibliográficas consultadas y los principales anexos.

## I. Diseño Teórico

### 1.1 Título del Trabajo

Incidencia del cambio en la cobertura de la tierra del alto río Sogamoso en el marco del desarrollo territorial sostenible.

### 1.2 Pregunta de Investigación

**¿Cómo repercute el cambio en la cobertura de la tierra en las unidades hidrográficas de nivel 1 del alto río Sogamoso en el marco del desarrollo territorial sostenible?**

#### *1.2.1 Preguntas Auxiliares de Investigación*

- ¿Cuáles cambios ha mostrado la cobertura de la tierra en las unidades hidrográficas de nivel 1 en el alto río Sogamoso en el periodo 2005-2019?
- ¿Cómo contribuye la delimitación por unidades hidrográficas de nivel 1 en el alto río?
- ¿Cómo las acciones propuestas pueden contribuir a la sostenibilidad de las unidades hidrográficas de nivel 1 del alto río Sogamoso?

### 1.3 Descripción del Área Problemática

El cambio en la cobertura de la tierra es la huella que certifica qué tan armónicas han sido las relaciones del hombre con la naturaleza; de ¿cómo y cuáles han sido históricamente las dinámicas de prácticas de apropiación del territorio? Así, la dimensión espacio territorio pasa a ser un área dialéctica de continuo proceso de ajuste y desajustes, donde se impone el grupo social de mayor dominancia, reproduciendo sus intereses individuales y colectivos. Se forja, se construye y se deconstruye un nuevo modelo de sociedad en función de sus ideales socioeconómicos, políticos, culturales e institucionales (Velásquez et al. 2014), los cuales, fragmentan la estructura y composición de los ecosistemas como también de sus SE. De esta manera, el cambio irracional en la cobertura de la tierra puede generar problemáticas tan

complejas como la deforestación, la degradación y la desertificación de los ecosistemas, entre otras problemáticas.

Aún más, estas dinámicas o “*prácticas de apropiación del territorio*” no sólo son culturales, demográficas o poblacionales de carácter nacional, regional o local. En el actual siglo XXI las fuerzas de los mercados externos se han convertido en motores propulsores; 1) mediante la atracción de inversión extranjera a economías subdesarrolladas como la colombiana y 2) mediante la implementación de políticas públicas desarrollistas, las cuales, vienen transformando el paisaje de ciertos territorios en núcleos expansionistas productivos, como por ejemplo; el cambio de uso del suelo agropecuario hacia *cultivos intensivos de palma africana*, el cambio de coberturas naturales producto de la expansión de *la frontera agropecuaria* en función de la demanda de mercados internacionales mediante los acuerdos comerciales, la implementación de la política pública de los *Biocombustibles*, la política pública del crecimiento económico en función de modelos extractivistas mineros en la escala local Etc. Asimismo, los cambios en la cobertura de la tierra en un determinado contexto territorial son producto de: “a) conversión de la cobertura del terreno, b) degradación del terreno y c) intensificación en el uso del terreno, donde, en la escala regional “afectan el funcionamiento de cuencas hidrográficas y de asentamientos humanos” (Bocco et al. 2001, p. 19).

En consecuencia, en busca de una visión de progreso, el departamento de Santander-Colombia viene convirtiéndose en un territorio “competitivo” en los últimos 20 años, alterando la cobertura de la tierra en función de su potencial ecosistémico y su gestión político-administrativa. De esta manera, el Plan Regional (Santander) de Competitividad proyecta al 2030 al ente territorial como uno de los tres departamentos más competitivos de Colombia. Al mismo tiempo, las fuerzas públicas como privadas han impulsado el desarrollo

socioeconómico aprovechando las ventajas endógenas del territorio. Así, se han impulsado megaproyectos como: “Ruta del Sol”, “Dragado del río Magdalena”, “Modernización del aeropuerto internacional de Palonegro”, “Creación de la zona franca de la salud”, “Ampliación de la vía Bucaramanga-Cúcuta”, “Embalse del río Toná”, “Acuaparque Panachi” y la Construcción de la central hidroeléctrica “Topocoro-Hidrosogamoso”<sup>1</sup>, como artefactos promotores del crecimiento y desarrollo regional. En tal sentido, la central hidroeléctrica “Topocoro-Hidrosogamoso” se convirtió en un enclave económico vital para impulsar el crecimiento y el desarrollo regional aprovechando la alta demanda nacional de energía eléctrica, producto de la expansión urbana y el desarrollo comercial e industrial (Santander Competitivo, 2017, pp. 3-6).

Sin embargo, la dinámica que generó Hidrosogamoso en el contexto local (zona de influencia directa) es incomprensible, más si se tiene en cuenta los impactos negativos generados previos a la construcción e inundación del embalse y los que, académicos y teóricos han evidenciado en proyectos similares, donde; demuestran cómo este tipo de megaproyectos en función del uso del suelo y aprovechamiento del recurso hídrico, generan múltiples transformaciones territoriales acelerando el CCUS. En síntesis, el territorio tomado como una unidad de tierra que se reorganiza en función de una nueva visión socioeconómica (Uharte, 2016; Flores, 2014; Areiza, 2013; Dourojeanni, 2009; Cuello, 1995).

---

<sup>1</sup> La Central Hidroeléctrica Sogamoso está localizada en el departamento de Santander, a 30 km en línea recta al occidente de Bucaramanga y a 51 km al este del Puerto de Barrancabermeja, sobre la Cordillera Oriental, en un cañón donde el río Sogamoso excavó su cauce a través de la Serranía de La Paz, para desembocar al valle aluvial del río Magdalena. A la central se accede por la carretera troncal que une las ciudades de Bucaramanga y Barrancabermeja, ubicándose el sitio de obras principales aproximadamente 1 km aguas arriba del puente La Paz, en jurisdicción de los municipios de Girón y Betulia. La presa, obras anexas y el embalse están ubicados en jurisdicción de los municipios de Girón, Lebrija, Betulia, Zapatoca, Los Santos y San Vicente de Chucurí, departamento de Santander. El área de influencia del proyecto se extiende a la zona del bajo río Sogamoso, hasta su confluencia con el río Magdalena abarcando jurisdicciones de los municipios de Sabana de Torres, Puerto Wilches y Barrancabermeja (Comunicación: Auto 3342 del 18 de agosto de 2015. Expediente 237. Pág. 4).

A los anteriores indicios, se les suma la crisis ambiental, el deterioro económico, la decadencia socio/cultural y la desinstitucionalización, que la parte alta del río Sogamoso-zona de influencia directa de Hidrosogamoso han vivido históricamente. Sería absurdo, desconocer el abandono político de la región, la lucha de intereses por el dominio de la tierra, la concentración desigual del ingreso, el desempleo, la falta de oportunidades socio productivas, la expansión de la frontera agrícola, la contaminación ambiental, el sobrepastoreo, la tala indiscriminada de árboles, la sobrepesca, la explotación minera, la falta de gobernanza, la influencia de grupos al margen de la ley, la nula dotación de servicios públicos y, por último, la degradación ambiental de acuerdo con Alemán (2017), Gil (2017), Tercero, (2016), la Red por la Justicia ambiental en Colombia (2014) y el plan estratégico de la Asociación de Pescadores del Magdalena Medio. Capítulo: cuenca del río Sogamoso (ASOPESAMM, 2015).

A lo anterior, las dinámicas de “apropiación del territorio” y del CCUS en la parte alta del río Sogamoso se vuelven mucho más alarmante, si se tiene en cuenta las inquietudes planteadas en el informe: Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100 y el Plan integral de gestión de cambio climático territorial del Santander 2030, donde se advierte que:

- Para el Departamento de Santander se pronostica que en el período 2011 - 2040 habrá un aumento de la temperatura promedio de hasta 0,9 °C, aunque se resalta que este valor es bajo en comparación con el estimado por el IPCC, el cual estima aumentos hasta del 2°C, según el Plan Integral de Gestión de Cambio Climático Territorial del Santander 2030 (Ministerio del Medio Ambiente, 2016, p. 17).

- Para finales del siglo XXI, el Departamento Santander podrá aumentar en 2,5°C la temperatura promedio, en comparación con el contexto mundial donde se estiman aumentos hasta de 4°C. Los principales efectos podrían estar afectando el sector agrícola, debido a las fuertes elevaciones de temperatura promedio, particularmente en las provincias de Mares, Vélez y Soto.
- El servicio de provisión hídrica podría verse afectado para estas mismas provincias debido al mayor aumento de temperatura.
- La biodiversidad asociada a los sistemas de montaña y Páramos podrán afectarse por estrés térmico.
- Si bien la economía naranja impulsa el desarrollo económico, se deben tener en cuenta nuevos usos de los ecosistemas, en este sentido; la actual dinámica del sector turístico podría verse afectado debido a la pérdida de integridad ecológica de los ecosistemas más susceptibles a estrés térmico, según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2015, p. 49).
- No solamente el departamento de Santander, sino gran parte del territorio nacional tienen conflictos de uso del suelo, categorizados entre inadecuado y muy inadecuado con relación a la vocación, lo que puede causar desplazamiento de la población rural a nivel nacional, debido a la falta de incentivos del gobierno, según el Plan Integral de Gestión de Cambio Climático Territorial del Santander 2030 (Ministerio del Medio Ambiente, 2016, p. 22).

A los anteriores referentes, se suma tanto a nivel departamental y nacional fenómenos como que:

- ✓ En enero del 2015 se presentó el mayor promedio de temperatura (23,1)<sup>2</sup>
- ✓ A partir del año 2015 la temperatura presentó una tendencia al aumento
- ✓ En julio del 2014 se registró el menor promedio de humedad relativa con 77,6%
- ✓ En enero del 2015 y diciembre de 2015 con 6.2 mm son los meses con la menor cantidad de lluvias registradas
- ✓ La comparación de comportamiento de variables climáticas entre estaciones de ISAGEN y el IDEAM revela una tendencia de aumento de la temperatura y disminución de la precipitación en los últimos años, especialmente en el 2015 (Isagen-Fundación Natura. Convenio 47-337, 2016, p. 43).

Por último, ante las “prácticas de apropiación del territorio”, se resalta el papel y rol que la población coterránea ha desempeñado por vías democráticas en defensa de su territorio, ante la contaminación, degradación de cuerpos de agua, explotación minera y problemática pesquera generada precisamente por el cambio en la cobertura de la tierra. Así, mediante su participación se han logrado crear espacios de concertación y diálogo constructivo entre las partes implicadas (Red por la Justicia Ambiental en Colombia, 2014, p. 1).

Teniendo en cuenta los anteriores acontecimientos, se plantea la siguiente pregunta de investigación: **¿Cómo repercute el cambio en la cobertura de la tierra en las unidades**

---

<sup>2</sup> Se hace relación a los resultados de la estación del IDEAM aeropuerto de Bucaramanga. Proyecto Monitoreo del comportamiento micro-climático en el área de influencia de la central Hidroeléctrica Sogamoso.

## **hidrográficas de nivel 1 del alto río Sogamoso en el marco del desarrollo territorial sostenible?**

### **1.4 Antecedentes Investigativos**

A continuación, se destacan los principales antecedentes encontrados de acuerdo con la revisión documental realizada. Son referencias de carácter internacional, nacional, regional y local, sin perder de vista los planteamientos y aportes teóricos, conceptuales, epistemológicos, técnicos y metodológicos, de manera tal, que se logre obtener una mejor visión y comprensión de ¿qué implica el análisis del cambio en la cobertura de tierra, qué aspectos se deben tener en cuenta y qué limitaciones se deben enfrentar?

#### ***1.4.1 Principales Antecedentes Internacionales***

Un referente Internacional de vital importancia por su trascendencia, es el impacto de la presa “Tres Gargantas ubicada en el río Yangtze en China central”, la cual no solo ha generado crecimiento y desarrollo socioeconómico, sino también “una serie de graves e importantes consecuencias sobre la biodiversidad, [como lo son:] pérdida y fragmentación de numerosas hábitats terrestres [y vegetales] en el área del embalse, regresión de humedales y lagos laterales un vez el embalse esté construido, numerosas poblaciones de animales y plantas podrían perderse si no se adoptan las medidas conservacionistas adecuadas”, la alteración de la dinámica del río generará efectos “sobre la biodiversidad acuática, afectando especialmente a los peces migratorios, pero también a otras especies acuáticas, como el famoso delfín del Yangtze”. Otro de los impactos generados en la región, fueron la transformación del paisaje en función de la reubicación de la población, “la construcción de nuevas ciudades, vías de comunicación y la apertura de campos de cultivo” (López-Pujol, 2008, pp. 134-136). Otro de los impactos de la presa “De tres Gargantas” es el incremento en cierta parte de la región “en la precipitación”, mientras “que en sector de aguas

abajo y el sector sudeste de la zona del embalse sufrieron un descenso de la precipitación” (Meiyan et al., 2013, p. 52).

Ahora para el caso de la central hidroeléctrica de ITAIPÚ ubicado entre Brasil y Paraguay, (Alonso y Ram, 2020) evidencian, no solamente “los impactos ambientales, físicos, bióticos, culturales, económicos y políticos”, sino también la problemática socioeconómica, que este tipo de proyectos generan en el mediano y largo plazo, “disminuyen las condiciones de vida de los seres vivos y en el caso de las personas la vulneración de derechos humanos y por ende la dignidad humana a causa del crecimiento económico”, lo interesante de este referente radica en el interés y responsabilidad social del estado, la sociedad [sector empresarial] y el individuo, no solo para la explotación sostenible de los recursos naturales, sino también para la construcción tripartita de un ambiente sano en una sociedad moderna y amigable con el medio ambiente” (Alonso y Ram, 2020, pp. 160-172).

Continuando con la revisión documental y bibliográfica realizada, se encontró que en los estudios de CCUS predomina el enfoque de presiones poblacionales y culturales como principal factor o motor de cambio. Así, por ejemplo, el CCUS en la cuenca del río Sabinal, Chiapas, México, fue del 28%, donde los “procesos de cambio en la cobertura más importantes en la cuenca han sido el de bosque por terrenos agrícolas y la expansión de la mancha urbana en zonas de vegetación secundaria y cultivos. En 1993 y 2003, respectivamente, la cuenca sufrió fuertes inundaciones, la cual pudo deber a la disminución de la superficie de infiltración” (Gordillo-Ruiz y Castillo-Santiago, 2017, p. 45).

Mientras, Bocco et al. (2001) indican que la presión demográfica no fue un factor relevante como lo indican otros estudios relacionados con el CCUS, ya que la problemática estudiada se encontraba en áreas retiradas, concluyendo, que “los procesos de pérdida y

deterioro de bosques y selvas ocurren más por un descontrol en la actividad forestal, que como resultado de una política explícita de desarrollo económico no sustentable”, sin embargo, resalta la necesidad de estudiar con mayor detenimiento la compleja problemática del cambio de coberturas y la migración rural hacia las ciudades, donde es necesario estudiar factores externos como el rol de los mercados internacionales y su influencia en las regiones, como posibles motores propulsores de la deforestación (Bocco et al. 2001, p.19).

Otro trabajo importante, es el desarrollado por Gómez Astorga (2020), donde evidencia el efecto del CCUS sobre el caudal hidrológico en UHN1 impactadas. Gómez Astorga en su estudio en el río Pejibaye, Cartago – Costa Rica, evidencia “como los cuerpos de agua han disminuido”, demostrando a su vez, mediante el análisis de la matriz de cambio al 2025 “a partir de la tendencia de cambio en el periodo 2013-2018 y el modelaje de cadenas de Markov un decremento de un 24% sobre el bosque, la posible reducción se debe al agua subterránea en recarga debido a la precipitación pluvial” (Gómez Astorga, 2020, pp. 43-54).

Por así decirlo, los estudios relacionados con el CCUS adquieren una mayor jerarquía a partir de las problemáticas planteadas en el informe Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2004), al convertirse en uno de los insumos esenciales para mapear y evaluar los SE, entendidos ellos; como los “procesos y componentes del medio ambiente natural que proveen beneficios tangibles e intangibles para la sustentabilidad de la vida humana” (Meza, 2017, p. 8). En consecuencia, las primeras bases metodológicas para la clasificación de los SE son propuestas por Costanza (1997), Gómez-Baggethun y De Groot (2007) Turner y Daily (2008), quienes reagrupan las funciones de los SE en cuatro categorías: a) las de regulación, b) las de hábitat, c) las de producción y d) las de control.

Sin embargo, tal como lo sostiene Meza (2017) es la clasificación del Millennium Ecosystem Assessment-MEA (2004) la de mayor uso y aceptación para el mapeamiento y

evaluación de los SE, clasificación que reagrupa en 3 categorías las funciones de los SE: a) los de provisión con 5 tipos de servicios, b) los de regulación con 9 tipos de servicios y c) los culturales con 3 tipos de servicios, para un total de 17 tipos de funciones y SE (Meza, 2017, pp. 7-15).

Una de las maneras para poder abordar la aproximación de los SE, es el mapeo de las coberturas de la tierra, para ello, se han generado metodologías, siendo la metodología Corine Land Cover la más aceptada universalmente. Sin embargo, dicha metodología requiere ajustes de acuerdo al contexto en el que se aplica (Aguilera et al. 2009).

#### ***1.4.2 Principales Antecedentes Nacionales***

Para el contexto nacional, Moreno (2015, p. 9) aporta elementos teóricos conceptuales y metodológicos reveladores, al aclarar como las “transformaciones estructurales que acontecen a escala global, bloques económicos cohesionados, la constante transnacionalización de flujos comerciales, las relaciones de poder, el marco institucional y las estructuras sociales y productivas se acomodan originando cambios reiterativos” Resaltando, como las “prácticas de manejo y gestión” de la tierra transforman el paisaje en función de la dinámica económica comercial.

Metodológicamente, el autor en mención parte identificando el CCUS mediante el uso de la cartografía base del organismo territorial objeto de estudio, donde al compararlos en diferentes periodos de tiempo se pueden detectar las transformaciones productivas, económicas, sociales y ambientales. Para ello, el autor diseña una matriz de trabajo, donde se resalta el tipo de variables explicativas, los indicadores, las principales fuentes de verificación son: los planes de ordenamiento territorial (POT), datos poblacionales tomados del departamento administrativo nacional de estadística (DANE), cartografía digital o mapas del instituto geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Además, un trabajo de campo para

verificar la información encontrada en la revisión documental con apoyo de la participación ciudadana y/o actores sociales para el desarrollo de talleres o grupos focales.

Sus reflexiones comprueban cómo las dinámicas de CCUS han transformado el territorio periódicamente, perturbando el “ámbito social de los diversos actores, especialmente el del pequeño productor rural, afectando su tradicional evolución dentro del reivindicado desarrollo rural” A su vez, cómo la institucionalidad en su rol de generar mejores condiciones socioeconómicas y de desarrollo social incluyente, ha visto en los procesos de globalización una oportunidad para diversificar sus actividades productivas, al pasar de actividades de vocación agropecuaria a actividades de “expansión industrial” y de servicios turísticos. Implícitamente, el valor agregado de este estudio, radica en cómo mediante el ordenamiento territorial se rediseña la funcionalidad del territorio desde el componente: social, económico, ambiental y administrativo, en pro de una mejor rentabilidad de los recursos monetarios mediante el uso del suelo (Moreno, 2015, pp. 113-117).

Mientras Castañeda (2013) reflexiona sobre ¿cuál es la importancia de estudiar el CCUS?, ya que no sólo evidencia los fenómenos antrópicos de la sociedad moderna del siglo XXI, sino que también a partir de ellos se pueden generar insumos esenciales-creíbles-científicos para la toma de decisiones, especialmente para la creación de políticas públicas locales-regionales, tan esenciales para la “protección y preservación, si se pretende resguardar” los socioecosistemas, no solo como generadoras de riqueza monetaria, sino también como áreas reproductoras de vida para las generaciones futuras. El autor, además, resalta la importancia de “programas como ARC-GIS [para] cuantificar los cambios de cobertura, medir e identificar las principales transformaciones durante el periodo analizados en diferentes fechas”, aclarando, que los estudios de CCUS son de tipo multitemporales,

descriptivos, analíticos y prospectivos, al estudiarse no solo la magnitud sino también su tendencia (Castañeda, 2013, pp. 76-99).

Otro trabajo muy interesante por el objeto de estudio “Clima, cambio climático y cobertura y uso del suelo en los Andes Colombianos, es el desarrollado por (Rodríguez et al, 2010) en el sector nororiental de la cordillera Oriental Colombiana, quienes evidencian el cambio de coberturas naturales (bosque, paramos y herbazales) hacia otras coberturas antropizadas. Sin embargo, pese a estas transiciones sistemáticas, “los patrones espaciales de cobertura y uso del suelo (composición y configuración) no presentan cambios considerables, ya que la mayor parte de las probabilidades de transición al interior de las clases naturales se mantienen” Lo interesante de este trabajo, es que logra evidenciar como los SE de regulación pueden verse comprometidos, generando “cambios de las variables climatológicas en la escala local” y su impacto en el clima local-regional. “En consecuencia, los cambios en el clima se traducen en la detección de cambios en el nivel en las series de anomalías de precipitación, cambios en la variabilidad y cambios en su amplitud” (Rodríguez et al, 2010, pp. 44-71).

Metodológicamente, los trabajos desarrollados por: Peñaloza et al. (2020), Guerrero (2019), Chaparro (2017), Jiménez-López et al. (2015), Ramírez-Zapata (2015) y Muñoz et al. (2012) sobre el CCUS para el contexto colombiano, parten de:

- De la implementación de la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000, la cual tiene como propósito fundamental:
  - a) Caracterizar y clasificar las coberturas naturales y antropizadas en el territorio colombiano.

- b) Homologar, unificar los criterios, conceptos y métodos para conocer como está cubierto el país, ya que antes del año 2002 existía otras metodologías para determinar el CCUS en Colombia.
  - c) Dicha metodología, anhela impulsar los estudios del CCUS para proporcionar información fundamental en la actualización de los mapas de los ecosistemas estratégicos colombianos, identificación de conflictos de uso del suelo, ordenación de cuencas hidrográficas y del territorio, generación de insumos base para la creación de planes, programas, estrategias y política pública para mitigar la deforestación, en consecuencia, la degradación de los bosques y sus SE, y el inventario forestal, entre otros fines.
  - d) En síntesis, busca ser una propuesta que contribuya a la producción ordenada, estandarizada, sistemática e institucional de la cartografía de coberturas de la tierra del país, como herramienta de apoyo para la gestión sostenible de los recursos naturales del país (IDEAM, 2010, p. 6).
- Son estudios que se apoyan en la guía de zonificación y Codificación de Unidades Hidrográficas e Hidrogeológicas de Colombia. La cual tiene como fin esencial; definir la metodología, conceptos y herramientas para la delimitación, distribución y jerarquización de las cuencas del territorio colombiano con fines de gestión del recurso hídrico y aplicación de las políticas y planes de ordenación y manejo de cuencas que se vienen implementado y está reglamentado por los decretos 1323 de 2007 y 312 de 2012 (IDEAM, 2013, p. 9).

Para el soporte conceptual de la guía de zonificación y Codificación de Unidades Hidrográficas e Hidrogeológicas de Colombia está determinado en el decreto 1640 de 2012, por el cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las

cuencas hidrográficas y acuíferos. Donde se maneja los conceptos de: Cuenca Hidrográfica, Aguas subterráneas, Amenaza, Estructura Ecológica Principal, Límites de la cuenca, Área Hidrográfica, Zona Hidrográfica, Nivel Subsiguiente de la Zona Hidrográfica, Microcuencas y Acuíferos, Recurso Hídrico, Resiliencia, Servicios ecosistémicos, Vulnerabilidad, entre otros conceptos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012, pp. 1-7).

Son estudios, que por lo general hacen uso de imágenes satelitales por el bajo costo y accesibilidad, aclarándose, que para estudios de escalas menores a 1:25.000 los cuales requieren procesos de ajuste de la metodología Corine Land Cover, se deben usar imágenes satelitales de buena resolución espectral menor o igual a 10 metros, para una correcta interpretación visual de las unidades de cobertura de la tierra, como también de ajustes técnicos como los de orto rectificación de imágenes, especialmente en áreas montañosas para un mejor grado de exactitud (IDEAM, Informe, 2014, p. 15).

Finalmente, en cuanto a la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, debe ajustarse para los procesos de reinterpretación y evaluación de coberturas a escalas más detalladas, con el fin de mejorar y permitir mayores especificaciones de las coberturas analizadas. La validación de la metodología es una etapa fundamental que no debe evadirse por ningún motivo, debido a que confirma y da confianza a la información presentada por las imágenes satelitales y la certeza de la metodología” (Suárez-Parra et al. 2016, p. 13).

#### ***1.4.3 Principales Antecedentes Regionales y Locales***

A nivel regional y local, los documentos institucionales: 1) Planes de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Sogamoso (POMCA-río Sogamoso), 2) POMCA del río Lebrija y sus afluentes directos y 3) los POTs/PBOT/EOT de los municipios de Piedecuesta, los Santos, Zapatoca, Betulia, San Vicente de Chucurí, Girón y Lebrija, aportan evidencias de ¿cómo han sido las “dinámicas o prácticas de apropiación del territorio” en los

últimos 20 años? A continuación, la tabla 1 sintetiza las principales actividades antropogénicas encontradas por componentes.

**Tabla 1 Principales Actividades Antropogénicas por Componentes**

<b>Componentes</b>	<b>Actividades antropogénicas</b>
Capacidad de uso de la tierra	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Producto del uso del suelo el 79,3% del área de la cuenca posee una fertilidad química baja. Además, por las condiciones topográficas, el 22,7% del territorio posee pendientes entre 25 y 50% que condicionan una mayor susceptibilidad al deterioro por erosión, salinidad y remoción en masa.</li> </ul>
Hidrología	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La cuenca registra una fuerte presión por contaminación del recurso hídrico, la cual afectará en el mediano plazo las condiciones de aprovechamiento de este recurso para las actividades socio productivas.</li> </ul>
Biodiversidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Producto del monocultivo de la palma y ganadería extensiva, la cuenca evidencia una transformación antrópica en el 53,9%.</li> <li>➤ El 87,42% de la Cuenca se encuentra en condiciones vulnerables o en peligro, con capacidad de sostenibilidad moderada en el mediano plazo siempre que se implementen medidas adecuadas de protección y recuperación ecológica</li> <li>➤ Degradación ecosistémica y pérdida de la biodiversidad en ecosistemas estratégicos y rondas hídricas.</li> <li>➤ Pérdida de la capacidad de soporte ambiental de la cuenca.</li> </ul>
Gestión del riesgo	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Amenazas por incendios forestales en el 35,24 del territorio, colocando en vulnerabilidad a unidades productivas agropecuarias.</li> </ul>
Socioeconómico	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Producto del monocultivo de la palma y ganadería extensiva, la cuenca evidencia una transformación antrópica en el 53,9%.</li> <li>➤ El 87,42% de la Cuenca se encuentra en condiciones vulnerables o en peligro, con capacidad de sostenibilidad moderada en el mediano plazo siempre que se implementen medidas adecuadas de protección y recuperación ecológica</li> <li>➤ Degradación ecosistémica y pérdida de la biodiversidad en ecosistemas estratégicos y rondas hídricas.</li> <li>➤ Pérdida de la capacidad de soporte ambiental de la cuenca.</li> </ul>
Cultural	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Existen marcadas diferencias en las expectativas, intereses y formas de estructura cultural y social entre los municipios de la Cuenca.</li> </ul>
Político administrativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Los organismos territoriales registran limitaciones presupuestales que condicionan la ejecución de proyectos ambientales, así como la puesta en marcha de los diferentes instrumentos de planificación existentes.</li> </ul>

- 
- Baja regulación y acción Institucional en la delimitación y restricción de uso para las rondas hídricas y las acciones de conservación de ecosistemas y áreas estratégicas.
- 

**Nota.** Fuente: Corporación Autónoma Regional de Santander-CAS. (2010, 2011 y 2012). Formulación pomca-río Sogamoso. Fase de diagnóstico documento general vol. i. Caracterización básicas y del sistema físicobiótico. Vol. IV. Análisis situacional, pp.16, 33-34.

A nivel local, los Planes de Ordenamiento Territorial (POT), los planes básicos de ordenamiento (PBOT) y los esquemas de ordenamiento territorial (EOT) de los municipios: Piedecuesta, los Santos, Girón, Betulia, Zapatoca, San Vicente de Chucurí, Girón y Lebrija, confirman datos significativos para analizar el CCUS, según el área de objeto de estudio definida en líneas anteriores. Los POT y PBOT de los municipios de Piedecuesta, Girón, Zapatoca y Lebrija, principalmente, manifiestan un mayor CCUS al evidenciar una expansión urbana y rural producto del desarrollo urbanístico e industrial (zona franca e industria). Así, por ejemplo, el área ubicada en la parte sur occidental de Piedecuesta y del municipio y Girón “valle de Guativalara” viene proyectándose como zonas de desarrollo socioeconómico, además de otras áreas rurales como: Ruitoque, Acapulco, Valle de Chocoita y la vía Girón-Zapatoca. Estas áreas se caracterizan por la demanda de agua potable vital para garantizar la dinámica de crecimiento local-regional. Mientras, el PBOT del municipio de Lebrija evidencia un mayor CCUS en función de la expansión agropecuaria y de la minería.

Los elementos más significativos de este conjunto de documentos técnicos es que contienen mapas temáticos y cartas topográficas que se generaron en los años 2002-2005 producto de la formulación de los primeros POT/PBOT/EOT en cada municipio en mención. A la fecha del 2018, sólo 3 municipios han actualizado sus POT-PBOT, los demás municipios se encuentran en proceso de ajustes o de aprobación Institucional.

A estos antecedentes, se suman las dinámicas identificadas en la construcción y llenado del embalse “Topocoro-Hidrosogamoso plasmadas en los documentos ISAGEN-Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso: Actualización de los diseños para licitación y del estudio de impacto ambiental, volúmenes 1-6. Este conjunto de documentos describe la magnitud/impacto del proyecto sobre la cobertura de la tierra/uso del suelo en el área objeto de estudio. La magnitud y tendencias de aspectos tan importantes a revisar como: la caracterización del área de influencia (medio abiótico y biótico), la demanda, uso, aprovechamiento y/o afectación de recursos naturales y la identificación-evaluación de impactos ambientales, entre otros aspectos. Además, como se mencionó en líneas anteriores, se prevé un mayor cambio en la cobertura de la tierra/uso del suelo al implementarse y ponerse en marcha el plan de ordenamiento del embalse “Topocoro Hidrosogamoso”.

### **1.5 Justificación de la Investigación. Aportes Prácticos, Teóricos y Metodológicos**

A continuación, se declaran los principales aspectos que buscan dar respuesta a **¿por qué la presente investigación es importante y cómo ella puede contribuir significativamente en el alto río Sogamoso?**, ante el cambio de cobertura de la tierra en las unidades hidrográficas de nivel 1 y su impacto en la reducción de los SE generados en dichos ecosistemas estratégicos para el bienestar y calidad de vida del ser humano.

Desde lo práctico, 1) existe la necesidad de homologar y actualizar las bases de datos, especialmente, la información cartográfica-digital generada en la primera generación de los POT/PBOT/EOT, no solo de los organismos gubernamentales del área objeto de estudio, sino también los que estén pendientes por desarrollar dicha tarea, con herramientas modernas como los SIG, la implementación de imágenes satelitales de mejor resolución para verificar hoy en día con mayor detalle los tipos de coberturas, especialmente en áreas de difícil acceso físico, el tamaño de los parches por coberturas vegetales ante la problemática de la

deforestación y la actualización topográfica de límites por ejemplo de las cuencas hidrográficas, entre otros requerimientos. 2) Dicha información cartográfica fue creada con imágenes satelitales del sensor LANDSAT y Spot, los cuales poseían restricciones en cuanto al número de bandas y resolución espectral, 3) a la fecha, se dispone de imágenes satelitales con un mayor número de bandas y con una resolución espectral menor a 5 metros, la cual permite un mejor detalle del tipo de coberturas vegetales y uso del suelo, 4) existe la necesidad de homologar las metodologías empleadas antes del 2002-2004, con la aceptada internacional y oficialmente metodología Corine Land Cover, 5) la nueva ley Orgánica de Ordenamiento Territorial demanda incluir el componente ambiental a los nuevos POT/PBOT/EOT; no solo para definir las zonas de inversión para impulsar el desarrollo económico, sino también, para crear las condiciones necesarias para promover el DS, donde los SE sin duda alguna juegan un papel esencial como componentes esenciales para el alcance del bienestar y calidad de vida de la humanidad a diferentes escalas espaciales y sociales.

Otra de las razones desde lo práctico, es que existe la necesidad de integrar el conocimiento (local, técnico y científico) para obtener una mirada mucho más comprensible de cómo repercute el CCUS en las UHN1 en el alto río Sogamoso y su relación con la reducción de los SE (Hernández- Hernández et al, 2011), como también; la necesidad de generar y transferir conocimiento como estrategia para el alcance del DS y el cambio social (Servaes, 2012), ante la demanda de la comunidad académica y científica que buscan cada día estar mejor informados.

En consecuencia, comprender la problemática del CCUS y relación con la disminución de los SE, no es solo importante; es más que imprescindible en el actual siglo del conocimiento, ya que como lo mencionan: Moreno (2015), Martínez (2012), Nájera et al. (2010) y Bocco et al. (2001), no solo el factor cultural y el crecimiento poblacional han

incidido en las prácticas de manejo del territorio. Se debe ahondar en los enfoques epistemológicos de la relación globalización-territorio-cambio en la cobertura de a tierra e impacto sobre los SE, entender los elementos subyacentes de esta relación pueden contribuir a la reducción del cambio climático y a la pérdida de bienestar y calidad de vida, no solo de las especies presentes, sino también futuras, en las que se encuentra el hombre.

Otra de las razones, de analizar el CCUS y su relación con los SE, radica en que; los primeros estudios de CCUS son más de escala nacional, que local. Pero hoy en día, gracias a los adelantos tecnológicos existen instrumentos (imágenes satelitales) y herramientas que facilitan los estudios a escalas menores de 1:25.000 con unidades de mapeo menor o iguales a una Ha; esto convierte a las UHN1 en objetos de investigación más de orden local, que más que zonificarlas, permite identificar/visualizar y comprender problemáticas tan complejas como el cambio climático global, la deforestación, la degradación de la calidad y cantidad del agua, la gestión de riesgos, desastres, la calidad, cantidad y disponibilidad de los SE en cada UHN1. Insumos vitales, no solo para el ordenamiento y planeación económica del territorio; sino también para el diseño y creación de políticas públicas con criterios ambientales en función de los principales SE identificados como prioritarios para la sustentabilidad del área objeto de estudio. A su vez, mediante el estudio de la *tendencia del cambio* en la cobertura de a tierra, los organismos territoriales pueden identificar y gestionar estrategias de monitoreo y gestión ambiental, como también fiscales.

Desde el componente teórico, la presente investigación pretende contribuir con erudiciones que ayuden a comprender el impacto del CCUS sobre los ecosistemas y su relación con el cambio climático global, especialmente; de cómo influye en la reducción de los SE y, por ende; en el bienestar y la calidad de poblaciones vulnerables a diferentes escalas sociales, espaciales y temporales. Presionando, a que ya no son problemáticas de carácter

local/regional o nacional, sino *internacionales*, demandando una solidaridad global para unir esfuerzos, recursos y conocimientos. Desde esta óptica, los estudios relacionados con el CCUS se han convertido en una unidad modular muy importante en el análisis del cambio climático global y en el diseño de estrategias a diferentes escalas espaciales para la mitigar sus efectos, por ejemplo, sobre la producción de alimento (Damián et al, 2018).

A su vez, se requiere profundizar en el desarrollo teórico, conceptual y metodológico de los SE, venta de servicios ecosistémicos, valoración ambiental en escenarios futuros de cambio climático, caracterización de los SE en función de las actividades económicas dominantes del territorio, construcción de modelos de esquemas de SE para la conservación del recurso hídrico, teniendo en cuenta; que los SE son los pilares esenciales para alcanzar el DS.

En este sentido, visualizar, comprender, estudiar la complejidad del CCUS y su relación con los SE, impone un norte esencial para la toma eficiente y eficaz de decisiones públicas, en esencia de ¿cómo administrar y gestionar? por periodos de tiempo la estructura ecológica vital del territorio, se requiere la identificación y construcción de futuras líneas de investigación que potencialicen el conocimiento, la ciencia y la tecnología más desde el ámbito local y/o regional, a través de alianzas estratégicas de los grupos de investigación entre la Comunidad-Universidades-Estado. De manera tal; que no solo se logre aprovechar los recursos naturales con criterios de sustentabilidad, sino también, cómo conservar los SE, vitales para la sobrevivencia y calidad de vida de los seres humanos en el tiempo presente como en tiempos futuros.

Desde lo metodológico, se busca profundizar en la comprensión de las técnicas y herramientas pertinentes para abordar los estudios del CCUS, ya que existen varios métodos de cómo hacerlo, y aunque la utilización e interpretación de imágenes satelitales parecen ser

una de las más válidas por su acceso y costo, posee limitaciones técnicas de resolución espectral, “complejidad topográfica y condiciones atmosféricas” que pueden dificultar su interpretación visual, conllevando a interpretaciones erróneas, las cuales se pueden verificar involucrando “puntos de control geográfico” para la corrección y ajuste los polígonos identificados (Damián et al, 2018, pp. 2-3).

Otra de las razones metodológicas, radica en la necesidad 1) de potencializar el uso de la herramienta Dinámica Ego para modelar los efectos de la deforestación en el corto, mediano y largo plazo, b) inventariar y validar variables motoras del cambio para enriquecer la prospectiva territorial mediante la construcción de escenarios futuros, c) potencializar la creación de modelos con Dinámica Ego, por ejemplo; para estudiar los casos de incendios forestales, crear esquemas de venta de SE, estudiar los casos relacionados con la vulnerabilidad al riesgo, entre otro tipo de modelos.

La **novedad** de la presente investigación radica en el estudio de la relación cambio en la cobertura de la tierra en la zona de influencia del embalse “Topocoro-Hidrosogamoso” delimitado por UHN1. Esencialmente, de ¿cómo contribuye la delimitación de UHN1 en el ordenamiento territorial?, más cuando este tipo de unidades hidrográficas impactan varios municipios, donde sus administradores locales poseen competencias para actuar hasta cierto límite político-administrativo, pero que espacialmente, se benefician de los SE de dichas unidades hidrográficas. Se interpreta que los estudios de CCUS delimitado por UHN1 contribuyen significativamente al ordenamiento territorial y a la valoración de los SE como bienes y servicios complementarios vitales para alcanzar un territorio con criterios de sostenibilidad territorial y ambiental; los cuales pueden contribuir de la siguiente manera:

Ayudan a la identificación de programas de monitoreo futuro y la planificación de acciones de manejo de la subcuenta, como también, para el tratamiento de bosques

ribereños como ecosistemas retenedores de sedimentos. Es decir, sirven para el diseño y creación de planes, programas, proyectos y acciones que busquen mejorar la calidad y cantidad de agua (Auquilla et al. 2006).

A su vez, pueden contribuir al desarrollo integral de los municipios o de la región, al tomar como base territorial las UHN1, a partir de integraciones territoriales y/o regionalización de políticas transversales [en este caso el del recurso hídrico], para el fomento productivo y para el desarrollo empresarial (Massiris, 2012). Identificación y valoración de servicios ecosistémicos de las UHN1, esencialmente el recurso hídrico y sus multiplex beneficios asociados o conexos al territorio-población; dada su función central en la adecuada oferta hídrica (Correa, 2005, pp. 29-45).

Por último, mejorar la participación ciudadana y vinculación de los actores sociales en los procesos de ordenamiento territorial de la UHN1; facilita, no solo su sentido de pertenecía con los espacios geográficos como patrimonio, sino también, su responsabilidad y solidaridad medio ambiental, aspectos esenciales en el **diseño de acciones** para la mitigación del cambio climático (Santamaría et al. 2018).

La **utilidad** de la presente investigación, radica; 1) en la comprensión de la dinámica del CCUS en el área objeto de estudio, 2) la necesidad de implementar acciones y estrategias que propendan por una mejor sostenibilidad del territorio en el mediano y largo plazo, 3) la iniciativa de concebir el ordenamiento territorial por UHN1 y 4) como insumos base para la generación de políticas públicas locales/regionales, teniendo en cuenta el alcance de los POT, PBOT y EOT.

## **1.6 Objetivos**

### ***1.6.1. Objetivo General***

- **Analizar la incidencia del cambio en la cobertura de la tierra en las unidades hidrográficas de nivel 1 del alto río Sogamoso en el marco del desarrollo territorial sostenible, periodo 2005-2019.**

### ***1.6.2. Objetivos Específicos***

- **Identificar el cambio en la cobertura de la tierra en las unidades hidrográficas de nivel 1 en el alto río Sogamoso.**
- **Determinar la contribución de la delimitación por unidades hidrográficas de nivel 1 del alto río Sogamoso.**
- **Contrastar mediante modelación y generación de escenarios futuros acciones de mejora para el ordenamiento territorial en las unidades hidrográficas de nivel 1 del alto río Sogamoso con los instrumentos de ordenamiento territorial vigente.**

## **1.7 Supuestos y Categorías de Análisis**

Los supuestos de investigación son afirmaciones, negaciones, preguntas, conjeturas o posibles resultados a obtenerse, se plantean al inicio de toda investigación, ayudan a explicar el problema objeto de investigación mediante la identificación de teorías, leyes, categorías, variables, conceptos y/o relaciones entre categorías analíticas. No solo orientan la fase epistemológica, sino también lo procedimental relacionado con las etapas, técnicas y herramientas en el proceso investigativo y según lo planteado por Castán (2006, p. 5) “es una verdad provisional” que se rechaza o se acepta.

En el presente estudio se dedujeron los siguientes supuestos:

### ***1.7.1 Supuesto Central***

- El ordenamiento territorial vigente está conforme con las acciones propuestas por unidad hidrográfica de nivel 1 para un manejo adecuado en la cobertura de la tierra.

#### ***1.7.1.1 Supuestos Auxiliares de Investigación***

- La actividad socioeconómica agropecuaria del periodo 2005 – 2019 han influido significativamente en el cambio de cobertura en las unidades hidrográficas de nivel 1 en el alto río Sogamoso.
- La delimitación por unidades hidrográficas de nivel 1 son de vital importancia en el actual marco del desarrollo territorial sostenible, ya que ellas, no solo brindan bienes materiales, sino también servicios ecosistémicos vitales para mejorar el desarrollo y calidad de vida de la población a diferentes escalas espaciales o concepción del actual paradigma del desarrollo sostenible.
- El poder explicativo que posee la modelación y la generación de escenarios futuros como instrumentos analíticos en el ordenamiento territorial, es enriquecedor para el diseño de modelos de seguimiento y/o monitoreo de la deforestación, convirtiéndose en insumos vitales para la construcción de políticas públicas y toma de decisiones territoriales.

### ***1.7.2. Categorías de Análisis***

Se conoce como categoría de análisis a un concepto que encierra o contiene términos semejantes y que se correlacionan “entre sí”, se emplean para construir o clasificar conocimientos “en torno a un concepto capaz de abarcar” uno mucho más abstracto o amplio, es una táctica utilizada en investigaciones o en la generación de conocimiento (Souza, 2003).

Las principales categorías de análisis que se definieron para el presente estudio son:

- Cambio en la cobertura de la tierra.
- Dinámicas de prácticas de apropiación del territorio.

➤ Modelación y simulación de dinámicas.

**1.7.2.1. Principales Variables.**

Las variables representan las tipologías o cualidades, que a criterio del investigador desea reconocer en el objeto de investigación, las cuales poseen y “adoptan diferentes valores de tipo cualitativo, cuantitativo o [mixto]” (Azcona et al. 2013, p. 75). Para la presente investigación se tuvieron en cuenta las siguientes categorías y variables. Ver la tabla 2.

**Tabla 2 Categorías de Análisis y Variables**

<b>Categoría de análisis</b>	<b>Principales variables</b>	<b>Fuentes</b>
Cambio en la cobertura de la tierra.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cobertura de la tierra.</li> <li>- Unidades hidrográficas de nivel 1.</li> <li>- Matriz de transición.</li> <li>- Tasa de cambio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisión bibliográfica en bases de datos acreditadas.</li> <li>- Archivos en formato Word y Shapefile del documento: Pomca del rio Sogamoso. CAS-Santander.</li> <li>- Metodología Aldwaik y Pontius (2012).</li> </ul>
Dinámicas de prácticas de apropiación del territorio.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Características ecosistémicas.</li> <li>- Aspectos socioeconómicos: población-habitantes, población económicamente activa PEA, principales actividades económicas (agricultura, ganadería, usos forestales, comercio)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisión bibliográfica en bases de datos acreditadas.</li> <li>- Revisión documental de las características físico ambientales, sociales y económicas de los Planes de ordenamiento territorial de cada uno de los municipios que integran el área objeto de estudio.</li> </ul>
Modelación y simulación de dinámicas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistemas de información geográficos.</li> <li>- Construcción de modelos de cambio de coberturas de la tierra.</li> <li>- Prospectiva territorial.</li> <li>- Escenarios futuros.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manual de ArcGis 10.5</li> <li>- Revisión bibliográfica en bases de datos acreditadas.</li> <li>- Manual Dinámica Ego.</li> <li>- Tutorial: Introduction (Dinámica EGO) – UFMG.</li> <li>- Proyectando hacia el futuro: Programa Dinámica EGO. Instituto IMDEA Agua.</li> </ul>

Nota 1. Fuente: El autor.

Nota 2. CAS Corporación autónoma Regional de Santander/Colombia.

Nota 3. UFMG Universidad Federal de Minas Gerais.

Nota 4. Institutos Madrileños de Estudios Avanzados - IMDEA Agua.

## **II. Fundamentación Teórica y Conceptual**

A continuación, se esbozan los principales planteamientos teóricos, conceptuales y metodológicos, de acuerdo con el objeto de investigación: Incidencia del cambio en la cobertura de la tierra del alto río Sogamoso delimitado por unidades hidrográficas de nivel 1, con fines de ordenamiento territorial con un enfoque desde la geografía ecológica.

### **2.1. Cobertura de la Tierra**

De acuerdo con el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2017, p. 1) se define como cobertura de la tierra a “los diferentes rasgos que cubren la tierra, tales como agua, bosques, tipos de vegetación, rocas desnudas o arenas, estructuras hechas por el hombre, etc. Estos rasgos pueden ser visualizados hoy en día mediante fotografías aéreas, imágenes de sensores satelitales, mapas cartográficos”, etc. Mientras el cambio hace relación a las diferentes dinámicas que suceden en la superficie del paisaje o del territorio, las cuales se pueden observar en función de los periodos de tiempo analizados, su estudio es muy importantes, no solo para conocer el estado de los recursos naturales, sino también para calcular su “distribución espacial” (Rodríguez, 2011, p. 15).

#### ***2.1.1 Génesis del Concepto Cambio en la Cobertura de la Tierra***

El concepto actual de cambio en la cobertura de la tierra ha evolucionado en el transcurso del siglo XX. Entre 1930 a 1950 el cambio en la cobertura de la tierra se concebía desde el “uso del suelo” En los años 60 y 70, avanza su construcción teórico-conceptual gracias al desarrollo tecnológico mediante la implementación de las fotografías aéreas. Así, se trasciende al concepto de “cubierta” y se formula la dupla “cambio de uso/cubierta del suelo” (CCUS). Con el desarrollo de “sensores multiespectrales transportados a bordo de satélites se inicia una nueva era en el uso de la percepción remota para el análisis del CCUS”, auxiliada con el desarrollo de las “ciencias computacionales y de la informática,

específicamente de los sistemas de información geográfica (SIG)”. Por último, el término CCUS es acogido “por el Programa Internacional Geosfera-Biosfera (IGBP por sus siglas en inglés) en 1994 como un concepto clave, de donde se derivan un sin número de [aportes], principalmente metodológicos” (Velásquez et al. 2014, p. 1).

Ahora, no existe un único concepto de CCUS, aunque las metodologías para su abarcamiento si son similares. El concepto de CCUS depende fundamentalmente de los enfoques y de la disciplina con el que se estudie, aunque todas concurren a un mismo propósito o finalidad; la de determinar por qué se da el CCUS. El enfoque dominante es el de las ciencias sociales, donde priman estudios de la geografía física, geografía económica, geografía humana, antropología y economía agrícola. Desde este enfoque, el concepto de CCUS “es una medida de la pérdida del balance existente entre intereses sociales para implementar una acción de manejo consensuado. Por manejo se entiende un conjunto de acciones humanas, resultado de un contexto cultural consensuado entre los diversos grupos sociales con jurisdicción (tenencia) sobre la tierra entendida como un capital o patrimonio” (Velásquez et al. 2014, pp. 2-3).

### ***2.1.2 Cambio en la Cubierta de la Tierra/Usos de Suelo***

Teniendo en cuenta los anteriores referentes, conceptualmente se entiende por Cambio en la Cubierta de la tierra o cobertura/Usos de Suelo (CCUS), al tipo de forraje natural o producido por el hombre, que se ubica sobre el espacio territorial, como lo son los ríos, pastos, bosques, carreteras, edificaciones, líneas eléctricas etc. Mientras el uso se refiere al conjunto de actividades socioeconómicas productivas que el hombre desarrolla en un determinado periodo de tiempo, que dependen de cada lugar y de cada contexto histórico y factores antropogénicos como la historia del uso el suelo y las tendencias socioeconómicas y demográficas (Geist y Lambin, 2002). Ahora, para visualizar y entender el cambio en la

cobertura de la tierra se deben tener en cuenta los siguientes requisitos: “1) enlazar el comportamiento de las personas y sociedad en interacción con el uso del suelo, 2) comprender el tipo de relaciones que establece la sociedad con su ambiente y 3) un criterio multitemporal para incorporar los eventos pasados y presentes, en el contexto de la interacción de la sociedad con el ambiente” (Pineda, 2011, pp. 10-11).

➤ **Principales variables objeto de estudio en el CCUS**

Para el presente estudio, se tuvieron en cuenta las siguientes variables definidas por el IDEAM y el decreto 1640 de 2012, artículo 3, como bases conceptuales para estudiar el CCUS en los ecosistemas de cuencas con fines de planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos. Se declaran las más importantes y las utilizadas en el presente documento.

- ✓ **Coberturas vegetales:** “La “Cobertura” de la tierra, es la cubierta física que cubre la superficie de la tierra, no solo hace relación a la vegetación y los elementos antrópicos sobre ella, sino también se refiere a otras superficies terrestres como afloramientos rocosos y cuerpos de agua”
- ✓ **Cuenca hidrográfica:** Definida como el área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red hidrológica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen a un curso mayor que, a su vez, pueden desembocar en un río principal, en un deposito natural de agua, en un pantano o directamente en el mar.
- ✓ **Nivel Subsiguiente de la Subzona Hidrográfica - Unidades Hidrográficas de nivel 1:** Corresponde a aquellas cuencas con áreas de drenaje mayores a 500 km<sup>2</sup> dentro de una subzona hidrográfica y que sean afluentes directos del río principal.

- ✓ **Ecosistema:** Complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su medio no viviente que interactúan como unidad funcional.
- ✓ **Servicios ecosistémicos (SE):** Procesos y funciones de los ecosistemas que son percibidos por el hombre como un beneficio (de tipo ecológico, cultural o económico) directo o indirecto.
- ✓ **Recurso hídrico:** Corresponde a las aguas superficiales, subterráneas, meteóricas y marinas.

## 2.2. Unidades Hidrográficas de Nivel 1 Como Unidad de Análisis

Para estudiar el CCUS como “dinámica de las prácticas de apropiación del territorio” se requiere tomar como referencia un área geográfica, partiendo del supuesto que ella es homogénea o que se caracteriza por poseer un conjunto de patrones similares. Además de la definición planteada anteriormente y definida por el IDEAM y el decreto 1640 de 2012: se entiende por cuenca y/o unidades hidrográficas, como un ecosistema delimitado por factores del medio ambiente ecológico y fisiográfico, de los cuales se sirve una comunidad humana aprovechando los recursos naturales. Por último, para estudiar las microcuencas estas se deben analizar de forma vertical “de arriba hacia abajo, teniendo en cuenta sus tres áreas: área de captación o zona productora de agua, área de vertientes y el área de confluencia o zona receptora de agua”; esto es con base en la guía metodológica para la formulación de los planes de manejo ambiental de microcuencas-PMAN (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico, 2017, p. 7).

Para la presente investigación, las UHN1 se obtuvieron de la Geo Data Base GDB\_POMCAS 08\_2016\_SG\_gdb, archivo: 14\_Recurso\_Hidrico\_Superficial del POMCA del río Sogamoso, las cuales fueron delimitadas teniendo en cuenta:

El decreto 1640 de 2012 y la guía técnica para la formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas POMCAS (2014), haciendo uso de las curvas de nivel contenidas en la base cartográfica, el Modelo Digital de Elevación utilizado para el desarrollo del POMCA-río Sogamoso, y las imágenes satelitales disponibles, georreferenciadas y entregadas para el proyecto desde el Banco Nacional de Imágenes. La delimitación está sujeta a la cartografía 1:25.000 generada por el IGAC y se encuentra en concordancia con el mapa vigente de Zonificación Hidrográfica de Colombia elaborado por el IDEAM, el cual se encuentra a una escala de 1:100.000, por lo que se procede a hacer la corrección y edición con la base cartográfica, el DEM e imágenes satelitales, para generar la capa a 1:25.000.

Para la delimitación y codificación de las subcuentas [subsiguiente del río Sogamoso, es decir; para este caso las Unidades Hidrográficas de nivel 1], se siguió el procedimiento determinado por el IDEAM en su documento de Zonificación y codificación de cuencas hidrográficas e hidrológicas de Colombia (2013), que consiste en la metodología de Otto Pfasstetter, conocida como el Sistema Estándar Internacional del Servicio Geológico de los Estados Unidos (1997), y adaptada por el IDEAM para las condiciones colombianas, la cual involucra los conceptos de cuenca, cuenca interna e intercuenca, ajustando los criterios de codificación para las subcuencas de mayor desagregación, a su vez; teniendo en cuenta el relieve, características de drenaje y de localización, como también, la escala de detalle 1:25.000, de acuerdo con la fase de diagnóstico, documento general, vol. I. caracterización básicas y del sistema físicobiótico, POMCA río Sogamoso, (2014, p. 482-494).

Por último, de acuerdo con el decreto 1640 de 2012 y la guía técnica para la formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas POMCAS

2014, la codificación de unidades hidrográficas, parte teniendo en cuenta el siguiente nivel jerárquico:

Área hidrográfica o macro-cuencas, las cuales en total son 5. “Corresponden a las regiones hidrográficas que, en sentido estricto, son las grandes cuencas que agrupan un conjunto de ríos con sus afluentes que desembocan en un mismo mar”

Zona hidrográfica, 41 en total. “Agrupan varias cuencas que se presentan como un subsistema hídrico con características de relieve y drenaje homogéneo y sus aguas tributan a través de un afluente principal hacia un área hidrográfica”

Subzona hidrográfica, 311 en total. “Son cuencas que tributan sus aguas a su vez a las zonas hidrográficas”

Las Unidades hidrográficas de nivel I, II y III, son cuencas, microcuencas y acuíferos de nivel igual o subsiguiente al de las denominadas subzonas hidrográficas.

Aclarando, que la zonificación y codificación de las unidades hidrográficas de nivel I, II y III, son competencia de las Corporaciones Autónomas Regionales, las cuales para el proceso de zonificación se deben apoyar en “la cartografía base oficial y el modelo de elevación digital DEM” (Decreto 1640 de 2012, p.18).

### ***2.2.1 Unidades Hidrográficas de Nivel I y los Sistemas Socioecológicos***

Uno de los avances más importantes en la construcción del actual modelo del DS, son los enfoques que las cuencas y las unidades hidrográficas de nivel I, II y III han adquirido en las dos últimas décadas, fundamentalmente, por el alto valor material e inmaterial que ellas poseen y que paradójicamente en el actual siglo del conocimiento el hombre desconoce o no ha sido consciente de su valor estratégico como bienes y servicios complementarios para una mejor calidad de vida. De ahí, que identificar, reconocer, concientizar e incluir el valor

estratégico de dichos bienes y servicios en los procesos de ordenamiento territorial, es hoy en día una condición *sine qua non* para la construcción y alcance del DS.

Por esta razón, las UHN1 hoy en día se conciben como un SSE que poseen una estructura, una composición y unas funciones (relaciones y conexiones), por lo tanto, demanda una gestión y monitoreo mucho más continuo para reconocer, no solo su aporte socio productivo; sino también su salubridad para el aporte de dichos bienes y servicios ecosistémicos. Así, metodológicamente, demandan una concepción integral y holística-no parcializada, no solo de su cantidad y comportamiento, sino esencialmente; *su vinculación estratégica a las políticas públicas de crecimiento y desarrollo sostenible*; se reitera; por el valor estratégico de sus bienes y servicios como complementos articuladores vitales para una mejor calidad de vida o ampliación de los derechos sociales (un ambiente sano) de los seres humanos.

Así, las UHN1 no solo son espacios geográficos contenedoras de recursos naturales (visión tradicional), sino también medios significativos y vitales para la construcción del DS en sus diferentes dimensiones (social, económico, cultural, ambiental, político e institucional). Es decir, además de los aportes materiales (económicos); se deben reconocer y concientizar sobre los aportes intangibles de las unidades hidrográficas: como las dinámicas ambientales, la biodiversidad, la huella de carbono, la regulación climática etc., los cuales se deben articular al ordenamiento territorial, para el mejoramiento de las condiciones cualitativas y/o generación de bienestar social de los actores territoriales, como lo son: la salud física y mental, el ecoturismo y los valores espirituales y religiosos. **Aquí emerge la pregunta ¿cómo está relacionado el modelo de crecimiento económico del territorio y el valor material e inmaterial de sus cuencas y/o unidades hidrográficas?** (UICN-Unión

Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales, 2010) y (Fajardo et al. 2012).

La importancia de estudiar las UHN1 como un Sistemas Socio Ecológicos (SSE) radica esencialmente en la trascendencia de sus SE, el estado por la cual atraviesan las cuencas hidrográficas en el actual siglo del conocimiento y *esencialmente su articulación al DS* mediante los procesos de planeación y ordenamiento territorial. En este sentido, el deterioro de las UHN1 es una problemática muy compleja, pero necesaria de estudiar, fundamentalmente por su ámbito de impactos y luchas de intereses, ya que los SE “no solo se generan a diferentes escalas espacio-temporales, sino que además la sociedad los disfruta a distintas escalas. Un servicio suministrado a una escala puede ser disfrutado a diferentes escalas sociales, y diferentes servicios suministrados a diferentes escalas del ecosistema, pueden ser aprovechados únicamente en una escala social” (Martín-López et al. 2009, p. 241). En este orden, las presiones desarrollistas de la globalización de megaproyectos hidroeléctricos, la agricultura intensiva/extensiva, la intensificación del turismo y el desarrollo urbanístico, son agentes exógenos y endógenos que presionan a un mayor CCUS, el cual rebaja la calidad y cantidad de los SE.

Por otra parte, la degradación de los ecosistemas “está contribuyendo al aumento de las desigualdades y disparidades entre los grupos de personas, lo que, en ocasiones, es el principal factor causante de la pobreza y del conflicto social”. La comprensión de las dinámicas socio-ecológicas de los ecosistemas, “sugieren que los cambios importantes en las políticas, instituciones y prácticas pueden mitigar algunas de las consecuencias negativas de las presiones crecientes sobre los ecosistemas, aunque no todas (Millennium Ecosystem Assessment, 2004, pp. 5-8).

### ***2.2.2 Unidades Hidrográficas de Nivel 1 y la Evolución Teórica de los Servicios Ecosistémicos***

La delimitación por UHN1 permite reconocer, no solo, la presión que actualmente dichos SSE poseen, sino también el potencial que ostentan desde la prestación de sus servicios ambientales o ecosistémicos y lo importante de vincularlos al actual paradigma del DS, los cuales según “son ignorados por las sociedades que la habitan, en tal sentido estos servicios enfrentan importantes amenazas tales como, la sobreexplotación de los recursos (agua y tierra), la construcción de infraestructura de grandes dimensiones que alteran el funcionamiento natural, la contaminación etc.” (Martínez y Villalejo, 2018).

Es decir, no solo es importante conocer ¿cuál es el estado actual de las UHN1 con respecto a los SE? ¿cuál es el potencial?, y ¿cómo este potencial de SE puede contribuir al DS a través del ordenamiento territorial?, demanda, además; la construcción de metodologías de ¿cómo hacerlo?, de revalidar ¿qué tan pertinentes son?, teniendo en cuenta las características que las cuencas y/o unidades hidrográficas de nivel 1 no son homogéneas territorialmente.

Ahora, de acuerdo con la revisión documental desarrollada, el concepto de servicios ecosistémicos ha venido evolucionado en las últimas cinco décadas en paralelo con el de DS. Así, el concepto de SSE tiene su acuña en las ciencias de la “Ecología y la economía”. Desde la ecología; el concepto de “ecosistema es fundamental para comprender la definición de Servicios Ecosistémicos” Esencialmente, 1) para visualizar y comprender desde lo físico el conjunto de relaciones sistemáticas entre las parte o actores-incluido el ser humano (dependencias, conexiones, flujos de entrada y salida de energía, realimentación entre las partes etc.), es decir; “su esencia sistémica” y 2) la vinculación de los SSE como una “categoría funcional”, vital para la reproducción de la vida de cada una de las especies que

conviven en el espacio físico. De esta manera, inicialmente los SSE se clasifican como los “beneficios para la población humana”. Mientras desde las ciencias económicas, los primeros enfoques se relacionaron con los problemas de “las externalidades”, la “escasez de los recursos naturales y el crecimiento económico”, la “teoría económica sobre la política ambiental” y la cuantificación “matemática sobre las condiciones de la sobreexplotación y el análisis bioeconómico de los recursos naturales renovables” Ahora, los anteriores esfuerzos conceptuales, se logran consolidar con la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, donde “se definieron los ecosistemas como un complejo dinámico de comunidades de plantas, animales, microorganismos y el medio ambiente inorgánico, que interactúan como una unidad” (González, 2019, pp. 130-134).

Por otra parte, el informe *Evaluación de los ecosistemas del Milenio (2004)*, resalta tres problemáticas fundamentales por las cuales atraviesan las UHN1 y su impacto en los servicios ecosistémicos, ellos son:

1. Aproximadamente el 60% (15 de 24) se están degradando o se usan de manera no sostenible, los costos totales de la pérdida y degradación de estos servicios de los ecosistemas son difíciles de medir.
2. Los cambios que se han hecho en los ecosistemas están aumentando la probabilidad de cambios no lineales en los mismos (Incluidos cambios acelerados, abruptos y potencialmente irreversibles), como apariciones de enfermedades, las alteraciones bruscas de la calidad del agua, la creación de “Zonas muertas” en las aguas costeras, el colapso de las pesquerías y los cambios en los climas regionales.
3. La degradación de los servicios de los ecosistemas, está contribuyendo al aumento de las desigualdades y disparidades entre los grupos de personas, lo

que, en ocasiones, es el principal factor causante de la pobreza y del conflicto social (Millennium Ecosystem Assessment, 2004, p. 5).

Para una mayor comprensión del rol de las UHN1 y sus SE en el actual paradigma del DS, dicho informe mencionado anteriormente evidencia el estado de los SE a escala global, donde; se resalta la merma del SE de provisión por la reducción de la cobertura vegetal de bosque, producto de la explotación maderera y de leña. También se destaca el descenso del SE de “agua dulce por el uso insostenible para consumo doméstico, industrial y riego, la pérdida de las dinámicas ambientales, ya que estas han venido mermando la capacidad de la atmósfera de auto limpiarse”, como también; la pérdida del SE relacionado con los servicios culturales, tan vitales para que el ser humano posea una mejor calidad de vida (Millennium Ecosystem Assessment, 2004, p. 30).

Ahora, según Montes y Salas (2007) el informe de Millennium Ecosystem Assessment (2004), no solo logró generar conciencia sobre el estado de los Ecosistemas, sino también la convergencia de esfuerzos y recursos para generar insumos mucho más pertinentes, para la solución de los actuales problemas relacionados con los SE, en otras palabras; “las buenas políticas gubernamentales deben basarse en datos científicos sólidos” (Annan, 2000).

Como aporte a los anteriores planteamientos, De Groot (2006) resalta el problema de la baja valoración “ecológica, sociocultural y económica” que se les asigna a los ecosistemas y sus SE, y la necesidad de generar información para incorporar en el análisis económico tradicional el valor social y monetario de las funciones ecosistémicas y/o SE en los procesos de planeación y ordenación territorial. Su propuesta parte de la integración de cinco (5) tipo de funciones ecosistémicas, las de: regulación, hábitat, producción, información y de transporte. Producto de estos planteamientos, se fortalece los métodos de valoración

económica ambiental. Nace entonces el desafío, de ¿cómo integrar y calcular monetariamente los SE?, fortaleciéndose así los procesos de valoración económica ambiental.

Ahora en relación con los SE de las UHN1, Montes y Salas (2007) plantean dos aspectos muy relevantes: a) la necesidad de trabajar en la identificación de “las interacciones complejas que se dan en la explotación de los ecosistemas, con el fin de conocer y gestionar conjuntamente los (trade-offs)”, teniendo en cuenta, que las autoridades y/o instituciones se organizan de manera autónoma e independiente y sectorial. Aquí surge las siguientes preguntas: ¿agua para qué o para quiénes?, para el consumo humano y la satisfacción de sus necesidades o agua para el crecimiento y desarrollo productivo?, dependiendo de la oferta hídrica de las UHN1 ¿cómo definir su disponibilidad? ¿cómo articular dicha disponibilidad en el ordenamiento y planeación del territorio?, y b) la valorización social y económica de los SE, al pasar de ser bienes de uso públicos a bienes de cambio. En este sentido, los organismos gubernamentales locales juegan un rol mucho más significativo para escalar al orden regional, nacional e internacional los beneficios de los SE, dando así origen a la generación y venta de servicios ambientales (pp. 141-142).

A los anteriores planteamientos sobre los SE, Gómez-Baggethun y De Groot (2007) plantean la necesidad de incorporar en las cuentas nacionales o contabilidad del Producto Interno Bruto los costos de las externalidades ambientales y “los costos físicos de la actividad económica” en el ciclo productivo, como estrategias para: a) optimizar el stock de los recursos naturales, b) minimizar los impactos ambientales mediante el mecanismo de precios y c) fomentar herramientas para el diseño de políticas públicas en los procesos de conservación, protección y rehabilitación ambiental.

En suma, gracias a los aportes De Groot et al. (2010) y De Groot et al. (2012) se logró realzar la importancia de los SE en la construcción del DS, no solo fundamentando las bases

metodológica y conceptuales para la *valoración económica de los SE* como herramientas esencial en la construcción de políticas públicas, sino también; el anclaje de la sociedad civil y de los actores territoriales en los procesos de protección, conservación y rehabilitación ambiental, mediante la generación y aplicación de incentivos y medidas ambientales, dando así origen a la corriente de pago por servicios ambientales.

En este sentido, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018) declara que los pagos por servicios ambientales son:

Un incentivo económico en dinero o en especie que reconocen los interesados de los servicios ambientales a los propietarios, poseedores u ocupantes de buena fe exenta de culpa por las acciones de preservación y restauración en áreas y ecosistemas estratégicos, mediante la celebración de acuerdos voluntarios entre los interesados de los servicios ambientales y beneficios del incentivo (Decreto N<sup>o</sup>. 1007, artículo 2.2.9.8.1.4).

Otro enfoque interesante de los SE es el planteado por Haines-Young y Potschin (2013) quienes aclaran la importancia conceptual de “distinguir los servicios, bienes y beneficios finales del ecosistema”, donde el concepto de “**Servicios Finales**” son definidos “como productos que las personas usan y valoran”, con la finalidad de evitar la “doble contabilización” (Haines-Young y Potschin, 2013, pp. 3-9). Este último enfoque de los SE, también es conocido “como la cascada de los Servicios Ecosistémicos”, fundamentalmente, por la conexión de la “cadena de producción” (González, 2019, p. 134).

Finalmente, la evolución de los enfoques de las funciones de los ecosistemas y sus SE, han contribuido en: a) el desarrollo teórico, conceptual y metodológico alrededor de las funciones de los ecosistemas y sus SE, como insumos esenciales en la construcción de marcos de referencias comunes, no solamente para valorar monetariamente el capital natural de los

territorios, sino también para comprender la transferencia de los múltiples beneficios de los SE a diferentes escalas hacia el ser humano (Costanza et al. 2014), b) la contribución de los métodos de valoración ambiental en el análisis económico tradicional (Ripka de Almeida et al. 2018, pp. 247-254), como instrumentos o herramientas para articular los costos de las externalidades y “los costos físicos de la actividad económica” en el ciclo productivo, en la planificación y ordenamiento territorial (Gómez-Baggethun y De Groot, 2007, pp. 262-267), y c) la innovación social y territorial mediante el desarrollo de políticas públicas que busquen mejorar las externalidades desde la escala local mediante la concepción y aplicación de incentivos y medidas como el pago por servicios ambientales (De Groot et al. 2012; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).

En este sentido, espacial y geográficamente las UHN1 y sus SE, se convierten en un repositorio de capital natural muy valioso en el actual siglo XXI, en esencia por la transferencia de los beneficios de ecosistemas identificados como estratégicos, como, por ejemplo; los recursos hídricos en la escala local-regional, y en las escalas nacional e internacional por las funciones climáticas. La información que se pueda generar a partir de las UHN1 a diferentes escalas, sin duda alguna, no solo servirá para determinar el valor ecológico, económico y cultural de los ecosistemas, sino también para la generación de políticas públicas mucho más eficientes que ayudaran a reducir las externalidades ambientales (Correa Restrepo, 2005).

Por lo tanto, la delimitación por UHN1 permite reconocer la presión que ellas poseen actualmente ante la dinámica socio productiva de la región, como también, deducir el valor categórico y estratégico de sus SE; valor que sin duda alguna se debe articular en los procesos de ordenamiento territorial para salvaguardarlos mediante políticas públicas, se pueden convertir en motores propulsores para la construcción y alcance del DS.

Ahora bien, en relación con el decreto N<sup>o</sup> 1007 del 14 de junio del 2018 muestra que las UHN1 poseen un alto potencial desde sus SE para:

- Implementar lo referente a pago por servicios ambientales y la adquisición y mantenimiento de predios en áreas y ecosistemas estratégicos.
- Definiéndose el pago por servicios ambientales como el incentivo económico en dinero o en especie que reconocen los interesados de los servicios ambientales a los propietarios, poseedores u ocupantes de buena fe exenta de culpa por las acciones de preservación y restauración en áreas y ecosistemas estratégicos, mediante la celebración de acuerdos voluntarios entre los interesados de los servicios ambientales y beneficiarios del incentivo.
- Los proyectos de pago por servicios ambientales se focalizarán en áreas y ecosistemas estratégicos identificados en el Registro Único de Ecosistemas y Áreas Ambientales (REAA) o en el registro Único Nacional de Áreas Protegidas (RUNAP); siempre y cuando cumplan una de las siguientes condiciones: A) Áreas o ecosistemas estratégicos con riesgo de degradación de la cobertura natural especialmente por expansión de la frontera agropecuaria, con énfasis en aquellas que se localicen en municipios priorizados por el posconflicto y B) Áreas o ecosistemas estratégicos degradados y en conflicto de uso del suelo, con énfasis en aquellas que se localicen en municipios priorizados para el posconflicto.
- Las modalidades de pago por servicios ambientales, son fundamentalmente: A) Pagos por servicios ambientales de regulación y calidad hídrica, B) Pagos por servicios ambientales para la conservación de la biodiversidad, C) Pago

por servicios ambientales de reducción y captura de gases efecto invernadero,  
D) Pago por servicios ambientales culturales, espirituales y de recreación.

- Además, los municipios, departamentos, autoridades ambientales y otras entidades públicas podrán invertir recursos por fuera de su jurisdicción, siempre que el área seleccionada para la adquisición, mantenimiento o pago por servicios ambientales sea considerada estratégica para la conservación de los servicios ambientales de los cuales se beneficia su respectiva jurisdicción.

Es decir; si se asume correctamente el mandato en mención, los municipios ubicados en el área objeto de estudio poseen un potencial incalculable para generar proyectos relacionados con el concepto de “Pagos por Servicios Ambientales”, los cuales sin duda alguna contribuirían significativamente al desarrollo sostenible del territorio, bien sea, por la generación de ingresos monetarios; los cuales mejorarían las condiciones socioeconómicas de los agentes involucrados, asimismo, desde la generación de ciencia aplicada en el estudio de los recursos genéticos, productos bioquímicos, medicinales naturales y productos farmacéuticos, y de igual modo, por la venta de servicios culturales como: valores espirituales y religiosos, valores estéticos, recreación y ecoturismo.

Así, por ejemplo, en los Esquemas de Ordenamiento Territorial (EOT) de los municipios de Betulia, Lebrija, Los Santos San Vicente y Zapatoca, contienen advertencias para explotar los SE de provisión con criterios de sostenibilidad; ya que algunos territorios muestran insostenibilidad por el intensivo uso de la tierra y por los procesos de deforestación, principalmente. También invitan, a un reiterativo énfasis en los SE relacionados con los de regulación, relacionados con el tema hídrico, como: nacimientos de aljibes y la conservación de las rondas hídricas de los ríos, adquisición de previos en zonas estratégicas para garantizar la cantidad y calidad del agua y/o para regulación de la erosión, entre otras estrategias

relacionadas con la finalidad de garantizar el recurso hídrico como agente vinculante del desarrollo sostenible.

Las UHN1 contribuyen significativamente al paradigma del DS al menos desde dos sub-sistemas socio ecológicos o enfoques, la mayor y tal vez la contribución más importante es por el **valor estratégico** que poseen **1) *los SE de las cuencas y/o unidades hidrográficas*** y **2) *el recurso hídrico de agua dulce*** como el SE de mayor importancia para los procesos de crecimiento-desarrollo territorial y para la reproducción de la vida de todos los seres vivos que integran el ecosistema, y **3) *por las dinámicas ambientales (servicios intangibles, pero vitales)*** que las UHN1 desarrollan, las cuales se aprovechan a diferentes escalas espaciales y por diferentes estratos sociales. De esta manera, la contribución de la delimitación por UHN1 es valioso. Porque permitiría, no solo identificar, planear y articular el recurso hídrico de agua dulce y sus múltiples SE a la planeación del desarrollo sostenible local, sino también garantizar a diferentes escalas espaciales y sociales un ecosistema que por sus funciones-dinámicas ambientales contribuye positivamente a la *problemática del cambio climático* (UICN-Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales, 2010, pág. 1).

### ***2.2.3 El Recurso Hídrico como Elemento Vinculante del Desarrollo Sostenible***

Como se mencionó anteriormente, el recurso hídrico de agua dulce adquiere su carácter de agente vinculante en el actual paradigma del DS, cardinalmente en la declaración de Dublín (Irlanda) en enero de 1992, donde; los recursos hídricos de agua dulce a nivel mundial, ***pasaron a ser reconocidos como un recurso estratégico para el DS y el progreso de la humanidad presente como futura***, al reconocerse que:

1. El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sustentar la vida, el desarrollo y el medio ambiente; 2. El desarrollo y manejo del agua deberían ser

participativos, involucrando a planificadores y a formuladores de políticas en todos los niveles; 3. La mujer desempeña un papel fundamental en la provisión, manejo y protección del agua y 4. El agua tiene un valor económico en todos los usos de la misma que compiten entre sí y debería reconocerse como un bien económico (UICN-Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales, 2000, pág. 50).

De esta manera, los recursos hídricos de agua dulce redimensionaron su enfoque, en el actual paradigma de la sostenibilidad, pasaron de ser “una gestión de los recursos naturales” a una “gestión participativa e integrada”, *centrando su atención en los beneficios de la misma como insumo esencial y vital para la reproducción social y económica de las poblaciones presentes como futuras*, no solo de los países en vía de desarrollo, sino también de los industrializados. En este sentido, la custodia de los sistemas hídricos pasa a ser un factor primordial en el ordenamiento territorial. Donde, la ordenación de cuencas hidrográficas debe perseguir los siguientes lineamientos:

- Promover un enfoque dinámico, interactivo y multisectorial de la ordenación de los recursos hídricos, incluidas la protección y la determinación de posibles fuentes de abastecimiento de agua dulce, que abarque consideraciones tecnológicas, económicas, ambientales y sanitarias.
- Planificar la utilización, protección, conservación y ordenación sostenible y racionales de los recursos hídricos con arreglo a las necesidades y prioridades de la colectividad dentro del marco de la política de desarrollo económico nacional.
- Elaborar, aplicar y evaluar proyectos y programas que sean tanto económicamente eficientes como socialmente adecuados dentro de unas estrategias definidas con claridad y basadas en un enfoque de plena participación pública.

- Determinar y fortalecer o implantar, según sea necesario, en particular en los países en desarrollo, los mecanismos institucionales, jurídicos y financieros adecuados para lograr que la política sobre los recursos hídricos y su ejecución sean un catalizador del progreso social y el crecimiento económico sostenible (ONU, 1992, programa 21, capítulo, 18)

Posteriormente, los planteamientos de la declaración de Dublín (Irlanda) fueron presentados en la Cumbre de Río de Janeiro (Brasil) los días 3 al 14 de junio de 1992, donde “se negoció y aprobó parcialmente el texto definitivo de la Agenda 21”. Sin embargo, es en la Cumbre mundial de Johannesburgo en el 2002, donde dicha iniciativa toma mayor fuerza por el llamado mundial a implementar programas y políticas públicas relacionados con la “gestión integral de los recursos hídricos y de uso eficiente del agua para el 2005” mediante la cooperación internacional de los países desarrollados para el alcance de un desarrollo sostenible. Es en función de este compromiso internacional que países en vía de desarrollo como Colombia, han generado, orientado y coordinado esfuerzos Institucionales, normativos, legislativos, financieros y humanos a nivel nacional, regional y local, para tal propósito (ONU, 1992, párrafo 17).

En correspondencia con lo anterior, el estado colombiano ha generado y viene promoviendo desde el año de 2002 un conjunto de normas, procedimientos y herramientas legislativas, en pro del ideal exclamado en la Cumbre mundial de Johannesburgo, de forma tal; que la gestión integrada de los recursos hídricos y el uso eficiente del agua se conviertan en una estrategia vinculante para el alcance del desarrollo sostenible, en un siglo XXI donde domina la liberación económica, la cual demanda mayores recursos naturales y/o materias, entre ellos, más agua dulce, para la producción mercantil de bienes y servicios vitales para la generación de ingresos y rentas productivas (enfoque de sostenibilidad débil).

A manera de ilustración, en el **anexo 2** se relacionan las principales normas relacionadas con la gestión integrada de los recursos hídricos y el uso eficiente del agua como una estrategia vinculante para el alcance del DS en Colombia, donde se puede apreciar la dinámica del estado colombiano en cuanto a normatividad, como lo son; los lineamientos de política nacional para la gestión integral de recursos hídricos, los propósitos, generalidades e instrumentos de la planificación ambiental regional, la priorización y ordenación de cuencas hidrográficas, para un correcto “equilibrio entre el aprovechamiento económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de las cuencas y particularmente de sus recursos hídricos” (Ministerio del Medio Ambiente, decreto 1729, de 2002, artículo 4).

#### ***2.2.4 Desarrollo Sostenible, Sistemas Socioecológicos y Unidades Hidrográficas de Nivel 1***

La concepción del Desarrollo Sostenible como su concepto de *Sostenibilidad/Sustentabilidad* ha evolucionado periódicamente producto de los aportes de la interdisciplinariedad, en consecuencia, la expresión de Sistemas Socio Ecológicos (SSE) (Berkes y Folke, 1998), son el “concepto moderno de desarrollo sostenible. Lo que, esencialmente, se busca a partir de la sustentabilidad es el avance hacia una relación diferente entre la economía, el ambiente y la sociedad, y en dicho rastreo, precisamente, fomentar un progreso, pero desde un enfoque diferente y más amplio, y ahí es donde reside el verdadero desafío, [bajo esta premisa] llegamos al sistema nervioso central de la sustentabilidad, también conocido como "sistemas socioecológicos" o "sistemas eco-socio-técnicos” (Calvente, 2007, pp. 1-4).

Otra de las características relevantes teórico-conceptual de los SSE es su clasificación, estos son:

- a) **Los sistemas diseñados-controlados**, los cuales son fabricados por el hombre, “se caracterizan porque el comportamiento de sus componentes es rigurosamente controlado. Ej. Las industrias, obras de infraestructura etc. b) **Sistemas diseñados-no controlados**. Son sistemas diseñados intencionalmente para seguir un conjunto de reglas de operación que guían su comportamiento, Aunque sus componentes no son fabricados. Ej. Los agroecosistemas, los sistemas de manejo de recursos naturales, una política pública, etc. c) **Sistemas no diseñados-no controlados**. Estos sistemas no se fabrican ni se diseñan intencionalmente, pero si se heredan natural y/o culturalmente. Ej. La cultura, una ciénega o las cuencas de los ríos (Salas-Zapata et al. 2011, pp. 138-139).

La importancia de los sistemas socioecológicos y sus SE para el alcance de los ODS, radica esencialmente, en los flujos materiales e inmateriales que los sistemas SSE proveen para la humanidad a diferentes escalas espaciales y sociales. Los SSE vistos como espacios geográficos o representaciones espaciales, “soportan el desarrollo de múltiples actividades económicas” vitales para el progreso socioeconómico de un determinado organismo territorial, la afectación de los mismos, conllevan a una reducción de “espacios vitales para el buen vivir de las comunidades locales, el detrimento de recursos económicos y el aumento de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), factor que contribuye al cambio climático, el cual afecta, no solo el bienestar y calidad de vida de las poblaciones vulnerables, sino también a los sistemas productivos alimentarios (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible e IDEAM, 2018, p. 10).

Ahora, desde el punto de vista de los SE, los SSE desarrollan múltiples y complejas funciones ambientales y ecológicas, ejemplo; la construcción de fuentes hídricas de agua dulce, la regulación de los micro climas, la generación de oxígeno, la captura y

almacenamiento de carbono, la polinización de los cultivos y el control de inundaciones, funciones indispensables para el alcance y cumplimiento de los ODS y su ideal de bienestar y calidad de vida para las generaciones presentes como futuras (ONU, 2015).

## **2.3 Herramientas Empleadas para el Análisis de Información**

### ***2.3.1 Percepción Remota y Sistemas de Información Geográficos (SIG)***

Para determinar el cambio en la cobertura de la tierra se requiere de insumos como fotografías aéreas, mapas cartográficos e imágenes satelitales que puedan evidenciar los “patrones/dinámicas de las prácticas de apropiación territorio” en un determinado periodo de tiempo multi-espacial. Para ello, se debe determinar y calcular los cambios en la cobertura vegetal de la tierra o cubierta del territorio-área objeto de estudio. Para lograr tal fin, la percepción remota o teledetección permite identificar los cambios mediante el análisis visual de imágenes satelitales y fotografías; en esencia, se identifican las diferentes coberturas de la tierra con métodos estrictos de análisis y se procesan generando capas o mapas temáticos de cambio de cobertura/uso del suelo multitemporales, donde los sistemas de información geográficos SIG desempeñan un papel muy importante como herramientas de análisis para el procesamiento e interpretación de la información, así; finalmente se puede generar material cartográfico relevante multitemporal a diferentes escalas (Moizo, 2004).

El CCUS implica determinar/calcular la matriz de cambio o de transición, vital para determinar ¿cuánto ha variado cada una de las cubiertas de la tierra identificadas y definidas?, según la temporalidad asumida (dimensión de magnitud) y ¿qué patrones de cambio han surgido (dimensión de cambio)? Técnicamente, lo que se hace es generar un mapa para el tiempo  $t_1$  el cual se intercepta con el mapa del tiempo  $t_2$ . La intersección de los dos mapas temáticos a diferente escala temporal permite identificar visualmente y cuantitativamente los

cambios, su intensidad y ubicación de donde sucedieron. Estos procesos técnicos se pueden obtener mediante el uso del SIG Arcgis 10.5, entre otros softwares.

Además, la implementación de los SIGs, como herramienta de análisis, contribuye significativamente en “la modelación, identificación de los factores físicos y socioeconómicos que determinan o condicionan la presión sobre el cambio de uso del suelo en un territorio, facilitando, (a) La selección de variables de entrada para la modelación; (b) La identificación de patrones espaciales en los datos; (c) La cuantificación de los cambios temporales observados o predichos; (d) La evaluación de factores que operan cruzando una variedad de escalas, y; (e) La visualización de los resultados” (Pineda, 2011, p.13).

### ***2.3.2 Métricas de la Ecología del Paisaje***

De acuerdo con Aguilera (2010) las métricas de paisaje son consideradas herramientas de análisis de corte cuantitativo, que permiten identificar esencialmente ¿cómo el cambio de coberturas de la tierra? afecta la estructura, composición y funcionalidad del ecosistema objeto de estudio. Los cambios cuantitativos se obtienen mediante la intercepción de los mapas temáticos del CCUS generados en cada periodo de tiempo y la aplicación de funciones matemáticas y estadísticas del SIG ArcGis 10.5, permitiendo geográficamente identificar ¿dónde? se está dando el cambio, cuantitativamente ¿cuánto? es el cambio y cualitativamente ¿por qué? se da. Así, se obtiene la sinopsis de la dinámica territorial en función de la escala temporal empleada. En síntesis, “las métricas de la ecología del paisaje surgieron para valorar las características espaciales y territoriales de los procesos ecológicos (Gustafson, 1998), en relación con conceptos como la fragmentación, la diversidad, la dominancia, la forma, el aislamiento, la compacidad, elongación” (Aguilera, 2010, p. 12).

De acuerdo con la revisión documental realizada, existen cinco (5) núcleos de “tipos de índices de paisaje” (Ibáñez, 2009, pp. 2-6), ellos son:

- **Los Índices de área, superficie, densidad y variabilidad;** estos son un tipo de índices centrado en las características de la dimensión y en el número de fragmentos que conforman el área objeto de estudio.
- **Índices de forma.** Los cuales están fundamentados en las características de forma de los fragmentos que constituyen un determinado paisaje.
- **Índices de ecotono y hábitat interior.** Los cuales permiten hacer cálculos sobre la amplitud del ecotono, o hábitat de borde, en relación con el hábitat interior.
- **Índices de distancia, vecindad y conectividad.** Estos índices calculan la distancia desde el hábitat de borde y ecotono de un fragmento hasta el fragmento más próximo al mismo tiempo.
- **Índices de diversidad del paisaje.** Estos índices aportan información relevante para poder comparar distintos paisajes o la evolución de un paisaje en diferentes momentos históricos.

En el siglo XXI bajo el paradigma del DS, la aplicación de métricas de la ecología del paisaje constituye un aporte significativo y relevante para la generación de ciencia y conocimiento en territorios vulnerables y/o con problemáticas de CCUS, en la medida que las métricas de paisaje permiten reconocer el grado de fragmentación entre las coberturas, la forma, tamaño y distancia de los parches. Esta información es valiosa no solo para integrar metodológicamente “un campo común de trabajo interdisciplinario mediante la incorporación de la dimensión ecológica-espacial a la valoración, análisis y planificación territorial” (Henriques, 2018), sino también para la identificación de acciones y estrategias para la construcción de políticas públicas y toma de decisiones financieras de carácter público. Por ello, Henriques (2018), Aguilera (2010), Botequilha-Leitão y Ahern (2002), Bocco et al. (2001), McGarigal y Marks (1995) recomiendan la aplicación de métricas de

paisaje para el ordenamiento territorial, aclarando que ellas están en función de las necesidades o de lo que el investigador desea saber o conocer.

### ***2.3.4 Modelamiento y Simulación del CCUS con Dinámica Ego***

La construcción de modelos de CCUS con la herramienta Dinámica Ego pueden ser vistos como representaciones gráficas o instrumentos de investigación, que representan la lógica, la estructura, la composición y la funcionalidad de un determinado paisaje y/o área objeto de investigación; y, a su vez, la dinámica y las interrelaciones de sus agentes en un determinado rango o periodo de tiempo. La construcción de modelos de CCUS con Dinámica Ego es fundamental para recrear mediante el modelamiento y la simulación toda una variedad de escenarios en función de los impactos socioeconómicas, ambientales, culturales, políticas e institucionales en el corto, mediano y largo plazo. No solo permite identificar la dinámica del CCUS, sino también, la celda de expansión donde probabilísticamente es posible la ocurrencia de los fenómenos. Ahora, las posibles ocurrencias mediante la creación de escenarios futuros se pueden convertir en alertas tempranas, tanto para el diseño y recomendación de acciones y estrategias, como también para insumos elementales en el ordenamiento territorial con enfoque ambiental (Espinoza-Mendoza, 2016).

En concordancia con lo anterior, la Universidad Federal de Minas Gerais – CSR/UFGM (2020, párrafos. 1-3), aclara que Dinámica Ego es una plataforma sofisticada para el modelamiento ambiental con posibilidades sobresalientes para el diseño desde el modelo espacial estático muy simple hasta los dinámicos muy complejos, que en última instancia pueden involucrar iteraciones anidadas, transiciones múltiples, retroalimentaciones dinámicas, múltiples enfoque regional y multiescala, procesos de decisión para bifurcar y unir tuberías de ecuaciones, y una serie de algoritmos espaciales complejos para el análisis y simulación de fenómenos espacio-temporales. Entre los modelos desarrollados por Dinámica

Ego, se encuentra *SimMadeira*, que es un modelo para evaluar escenarios de extracción de madera en la Amazonia brasilera. *Otimizagro*. Que es un modelo nacional que simula el CCUS, la silvicultura, la deforestación y el rebote y las emisiones de CO<sub>2</sub> en diversos escenarios de demanda y políticas de tierras agrícolas para Brasil y *SimAmazonia*, que simula la deforestación para modelar escenarios de conservación en la cuenca del Amazonas.

### **III. Diseño Metodológico**

Este capítulo contiene los principales aspectos metodológicos que se tuvieron en cuenta en el presente estudio. Contempla; el tipo de investigación, método, unidad de trabajo y de análisis, el procedimiento o fases de la investigación, técnicas e instrumentos para el alcance de los objetivos y los supuestos planteados en el capítulo anterior.

#### **3.1. Tipo de Investigación**

Para la presente investigación se concibió un enfoque investigativo de corte mixto (cualitativo-cuantitativo). Fundamentalmente, por las siguientes razones; a) por el proceso dinámico y complejo que posee el cambio de la cobertura de la tierra/uso del suelo, b) la necesidad de conocer la magnitud cuantitativa “de la transición de una categoría de la cobertura y uso de suelo por otra” y c) la tendencia de la deforestación en función de su probabilidad de cambio para la próxima década; ¿hacia dónde tiende su ocurrencia? y como mediante la construcción y análisis de escenarios futuros, no solo se pueden reconocer sus efectos negativos, sino también el ajuste de los mismos mediante la planeación, gestión y ordenamiento del territorio (Pinos Arévalo, 2016, p. 12).

En este sentido, las investigaciones con enfoque cualitativo mediante la observación directa y el análisis de firmas espectrales de imágenes satelitales mediante el uso de SIG, permiten “comprender y profundizar el conjunto de cualidades de los fenómenos, analizándolos desde el punto de vista de los participantes en su ambiente y en relación con los aspectos que los rodean” (Guerrero, 2016, p. 3), a su vez, ¿”cómo las personas dotan y construyen significados de sus vivencias” en el territorio (Duque y Díaz-Granados, 2019).

La investigación se considera de carácter no experimental, en esencia porque no se manipularon las variables objeto de estudio, se observó la fenomenología del CCUS en su

contexto natural, tal como se dio, para posteriormente analizarlos (Der Hagopian, 2016; Hernández Sampieri et al. 2014, pp. 152-165).

### **3.1.1 Método**

Se partió del método hipotético deductivo mediante la observación e indagación para detectar en el área objeto de estudio los puntos geográficos impactados (Díaz-Pacheco y Hewitt, 2013). Por esta razón, se empleó un tipo de análisis de corte multitemporal para los periodos 2005, 2013 y 2019, ya que mediante este tipo de análisis se puede identificar el cambio entre diferentes periodos de tiempo, deducir su tendencia y visualizar los resultados de las “acciones humanas” en los ecosistemas (Ruiz et al. 2014, p. 57).

Así, gracias a la observación ejecutada durante la construcción y llenado del embalse (2009-2013), se pudo deducir la problemática del CCUS, surgiendo preguntas como: **¿qué motiva el cambio en la cobertura de la tierra? ¿cuáles son las causas directas e indirectas del cambio? ¿qué dinámicas o patrones involucra? ¿cuáles son sus consecuencias sociales, económicas y ambientales? ¿cómo se ajusta el territorio? ¿cuáles son las perspectivas territoriales para los próximos años?**

En función de estas primeras premisas, se logró encontrar en el área objeto de estudio algunas problemáticas como:

- **Deterioro económico.** Ampliación de la frontera agrícola, externalidades de los megaproyectos de infraestructura, uso indiscriminado de agroquímicos, demostración, desempleo y disminución de las áreas de pesca y desarrollo de peces.
- **Decadencia social y cultural.** Desplazamiento de pobladores, deterioro de la calidad de vida, marginamiento e inequidad social, pérdida de la identidad cultural.
- **Desinstitucionalización.** Falta de presencia de autoridades públicas, ineficiente gestión de autoridades públicas, baja inversión pública e ineficiente gestión en servicios

públicos, incumplimiento de funciones y deberes por parte de algunas autoridades públicas, problemas de gobernanza y gobernabilidad, baja generación de capital social.

- **Crisis Ambiental.** Contaminación por residuos sólidos y aguas servidas, altas cargas de heces del ganado y agroquímicos, deterioro del agua en los humedales, eutrofización, destrucción de vegetación en las rondas hídricas, contaminación y taponamiento de caños, erosión por sobrepastoreo, alteración de la dinámica hídrica, de acuerdo con el Plan estratégico de acción de la Asociación de Pescadores y agricultores del Magdalena Medio-ASOPESAMM (2015).

### **3.2. Unidad de Trabajo y Unidad de Análisis**

Según Barriga y Henríquez (2001, pp. 64-65) la unidad de trabajo y la unidad de análisis hace referencia al conjunto de elementos, categorías y procedimientos con los cuales se aborda el objeto de estudio. Involucra esencialmente tres momentos, no necesariamente secuenciales, como lo son: a) el bosquejo de los argumentos pertinentes para comprender los conceptos que influyen en el cambio de Cobertura/uso del suelo, b) el territorio como laboratorio de observación y análisis de la tipología concreta y local del CCUS y c) los procedimientos cuantitativos requeridos para abordar en el territorio el CCUS (Díaz et al. 2013, p. 90).

Geográficamente, la unidad de trabajo se ubica dentro de la cuenca del río Sogamoso en el sector denominado aguas arriba de la presa o parte alta de la cuenca, “62 kms abajo de la confluencia de los ríos Suarez y Chicamocha y 75 kms aguas arriba de la desembocadura en el río Magdalena, aproximadamente 1 km aguas arriba del puente La Paz”

Cardinalmente, la unidad de trabajo limita al norte con los municipios de Lebrija y Girón; al sur con el municipio de El Carmen de Chucurí y Galán; al este, con el municipio de Piedecuesta y al oeste con los municipios de Sabana de torres y Barrancabermeja. Las

autoridades responsables de la administración ambiental son la CAS y la CDMB. Mientras, la unidad de análisis está integrada por seis (6) UHN1, las cuales impactan a los municipios de Piedecuesta, Los Santos, Zapatoca, Betulia, El Carmen de Chucurí, San Vicente de Chucurí, Girón y Lebrija. **Ver el anexo 1.**

Por su extensión territorial y caudal hídrico, la UHN1 del río Chucurí es la de mayor importancia con una participación del 37,2% (51489,34 ha), seguida de las UHN1 denominadas por la CAS como directos al río Sogamoso entre Cuchilla de San Pablo y Marta (con una extensión territorial de 25742,51 (ha)) y Quebrada la Betuliana y otros directos al río Sogamoso entre Cuchilla de San Pablo e Hidrosogamoso, la cual participa con un 16% (22198,62 ha). Estas tres UHN1 abarcan un 71,8%, 99430,47 hectáreas con respecto al total del área objeto de estudio. Ahora, la UHN1 denominada Hidrosogamoso por ser la receptora del embalse adquiere un rol mucho más significativo regionalmente, esencialmente; a) por la demanda de agua para la generación de energía en función de la demanda eléctrica nacional y b) por el impacto ambiental y socioeconómico del plan de usos alternativos del embalse. Esta cuarta UHN1 posee una participación del 12,1% y una extensión territorial de 16830,35 ha. La quinta denominada quebrada Zapatoca ocupa una extensión de 13494,83 ha, mientras la sexta denominada quebradas Agua Blanca y Pujaman, participan con un 6,3% y una extensión territorial de 8779, 26 ha (CDMB, 2018).

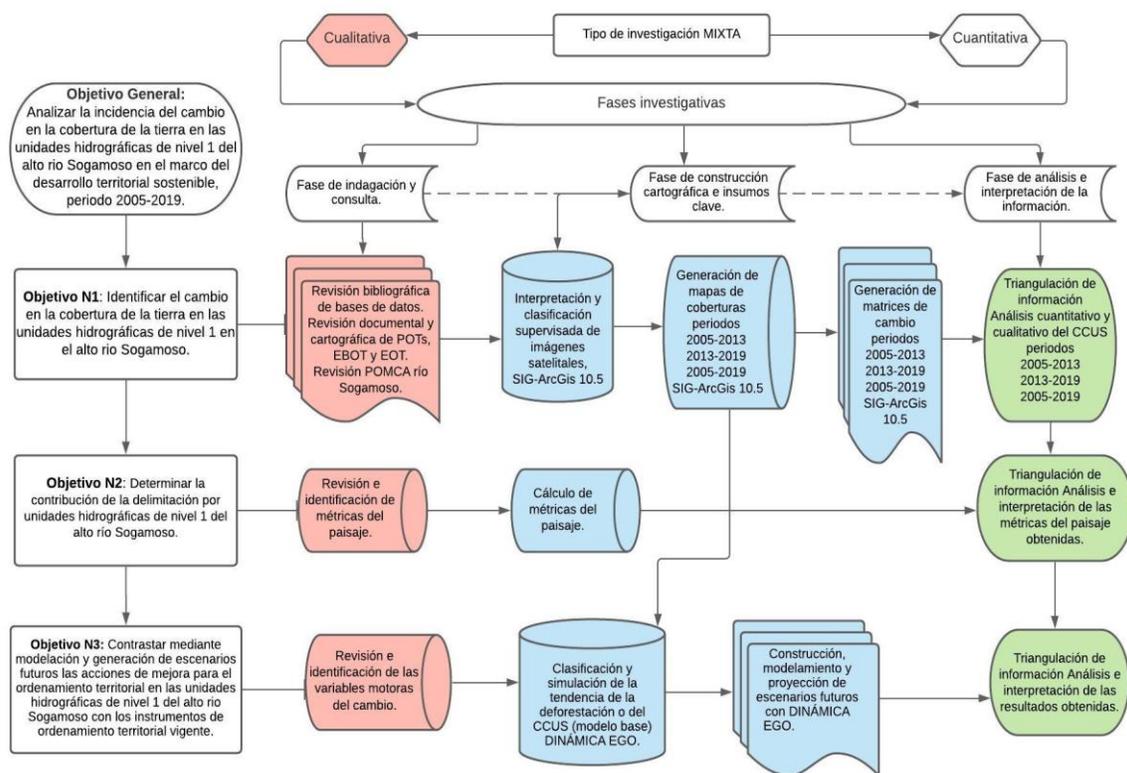
Cada una de las UHN1 se caracterizan por su rica biodiversidad y por el aporte de sus SE a los núcleos poblacionales de Bucaramanga, Barrancabermeja y Lebrija, esencialmente. Así, por ejemplo, las UHN1 del río Chucurí, Zapatoca, la Betuliana, Agua Blanca y Pujaman, riegan un complejo sistema productivo de vocación agraria y ganadera, donde se destacan los de cultivos de cacao, café, plátano verde y frutales como guanábanos y aguacates. Mientras, la UHN1 directos al río Sogamoso entre Cuchilla de San Pablo y Marta, por poseer

una topografía menos accidentada y por estar más cerca a los núcleos poblacionales de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca y Piedecuesta, evidencia un proceso dinámico de transición de territorios agrícolas hacia un tejido urbano discontinuo producto del desarrollo regional de los últimos 25 años.

### 3.3. Procedimiento de la Investigación

La investigación científica requiere de una serie de actividades recíprocas entre sí, como se mencionó anteriormente, no necesariamente en orden consecutivo o “lineal” y desde una “perspectiva analítica” seleccionada. Esta serie de actividades son vitales para el alcance de cada uno de los propósitos planteados (Guerrero, 2016; Castaño y Quecedo, 2002). En este sentido, la presente investigación contempla tres grandes fases o etapas, las cuales se sintetizan en la figura 1.

**Figura 1 Organigrama Metodológico**



**Nota 1.** Los iconos en color rosa hacen relación a procesos cualitativos.

**Nota 2.** Los iconos en color azul claro hacen relación a procesos cuantitativos.

**Nota3.** Los iconos en color verde pálido hacen relación a procesos Mixtos.

**Nota 4.** Fuente. El Autor

### ***3.3.1 Fase de Indagación y Consulta***

Esta primera fase está relacionada con el proceso de revisión bibliográfica, documental y cartográfica (digital), involucra dos macro procesos:

- 1) Una revisión bibliográfica de la literatura especializada en bases de datos acreditadas relacionada:
  - a) Con el CCUS.
  - b) La identificación y cálculo de métricas del paisaje.
  - c) Revisión documental de los POT/PBOT/EOT de los organismos territoriales ubicados en el área de trabajo e informes técnicos generados por autoridades locales y nacionales como lo son: la CAS Santander, el IGAC, el IDEAM y el Sistema de Información para la Planificación Rural Agropecuaria (SIPRA).
  - d) Revisión de mapas cartográficos y temáticos en formato Shapefile mediante el SIG ArcGis 10.5.
  - e) Identificación de variables motoras del cambio.
- 2) La depuración o filtración de la información considerada pertinente. En este macro proceso se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:
  - a) Publicaciones comprendidas entre el periodo 2013-2019 y/o de autores reconocidos del contexto internacional, nacional y local.
  - b) Información relevante que permitiera una mayor comprensión y dimensión de ¿qué implica el cambio de cobertura de la tierra/uso del suelo?, es decir; identificar y reconocer no solo los factores cualitativos y cuantitativos que presionan al cambio, sino también su proceso, dinámica o fenomenología.

- c) Reconocer los principales enfoques, planteamientos, teorías y aportes de autores acreditados en la temática objeto de estudio.
- d) Chequear las metodologías, técnicas y herramientas empleadas en cada uno de los estudios consultados.
- e) Revisión de imágenes satelitales, en cuanto a resolución espacial y temporalidad, como también, capas temáticas digitales en formato Shapefile de los componentes biofísicos, especialmente; mapas de cobertura de la tierra/uso del suelo empleados en los procesos de ordenamiento territorial de inicios de los años 2002 y estudios técnicos del POMCA del río Sogamoso.
- f) Identificar el tipo de métricas del paisaje aplicadas al ordenamiento territorial.
- g) Profundizar en el conocimiento técnico y procedimental para modelar el cambio de cobertura de la tierra y su tendencia, como insumos vitales para la construcción de escenarios futuros para el ordenamiento territorial.
- h) Identificar las variables motoras del CCUS en formato vectorial o ráster para su procesamiento en la modelación y simulación de la tendencia de la deforestación y construcción de escenarios futuro.

Cabe advertir, que esta fase es transversal, es decir; a) es un paso necesario para mejorar la comprensión del objeto de estudio, b) metodológicamente, ayuda a preconcebir como se pueden alcanzar los propósitos y supuestos planteados y c) como integrar posteriormente los datos obtenidos, especialmente los de corte cuantitativo.

### ***3.3.2. Fase de Construcción Cartográfica e Insumos Claves***

Producto de la filtración y valoración de la información considerada pertinente, se procedió a la fase de construcción de la cartografía temática para analizar el CCUS en el área objeto de estudio.

Esta fase integra cuatro grandes macro procesos:

- 1) a) la interpretación y clasificación supervisada de imágenes satelitales para la identificación de los polígonos y tipología de las coberturas vegetales, b) la construcción de la cartografía digital temática o mapas de coberturas vegetales/uso del suelo para los periodos multitemporales 2005, 2013 y 2019, c) la obtención de matrices para identificar y cuantificar el cambio.
- 2) La identificación, selección y cálculo de las métricas del paisaje para reconocer la deforestación.
- 3) La calibración y simulación de la tendencia de la deforestación o del cambio de la cobertura/uso del suelo en función de las variables motoras de la deforestación.
- 4) El Diseño y construcción de los escenarios futuros, según las variables motoras del cambio empleadas.

#### ➤ **Construcción de la Cartografía Digital Temática**

Para del análisis del CCUS en la parte alta de la cuenca del río Sogamoso, se procedió a la construcción de los mapas de coberturas vegetales/uso del suelo en formato Shapefile para los años 2005, 2013 y 2019 a escala 1:25.000. Para ello se ejecutaron las siguientes tareas:

##### - **Interpretación de imágenes satelitales.**

La metodología empleada para el levantamiento de las unidades vegetales en el alto río Sogamoso, se basó en la implementación de los patrones establecidos por Corine Land Cover y adaptada para Colombia, inicialmente a escala 1:100.000 con 3 niveles de clasificación hasta la escala 1:25.000 incluyendo 6 niveles de clasificación. Para el desarrollo del análisis multitemporal de coberturas vegetales mediante el método de fotointerpretación, se demandaron imágenes satelitales para los periodos 2005-2007, 2010-2012 y 2015-2016,

las cuales fueron suministradas por la CAS y el IGAC. Para el año 2019, se descargaron dos imágenes satelitales del satélite Sentinel-2. En la identificación de las diferentes leyendas o coberturas vegetales en el área objeto de estudio se empleó el SIG ArcGis 10.5.

- **Información.**

Se tomó como insumo inicial los mapas de coberturas vegetales de los periodos 2005-2007, 2010-2012 y 2015-2016, información suministrada por la CAS, la cual posee un área de 79087,51 hectáreas del total de 138534,9 ha. Dichos insumos fueron interpretados con imágenes Spot para los periodos 2005-2007 y 2015-2016 e imágenes Rapideye para el periodo del 2010-2012. El área restante del proyecto (59447,4 ha) se interpretó con imágenes Spot para el periodo 2005-2007 e imágenes Rapideye para el periodo 2010-2013. Las imágenes satelitales para este periodo en mención fueron suministradas por el IGAC y para el periodo 2015-2016 se decidió actualizar la cobertura con imágenes Sentinel-2 del 2019.

Para este subproceso, se tuvieron en cuenta las capas de coberturas del IDEAM 2010-2012, escala 1:100.000; la capa de coberturas de Parque Nacionales Naturales 2013v4-2019, escala 1:100.000, la capa de coberturas del POMCA del río Sogamoso y cartografía base del IGAC 2018, escala 1:100.000, como material de apoyo. Dado que en algunas zonas del área de objeto de estudio se presentó nubosidad, se recurrió a imágenes Landsat del 2013 y 2019 e imágenes de Google Earth para corregir dicha problemática.

- **Imágenes Satelitales.**

La interpretación de las coberturas vegetales de la tierra para los periodos de 2005, 2013 y 2019 del área objeto de estudio, se llevó a cabo mediante la utilización de imágenes Satelitales de diferentes sensores con una resolución no mayor a 10 metros. Esto permitió tener una clasificación con mayor nivel de detalle. En la tabla 3 se relacionan las características de las imágenes satelitales empleadas.

**Tabla 3 Imágenes Satelitales Empleadas**

Año	Sensor	Imagen	Resolución	Fuente
2005	Sport	sinergy_spot_647_336_060530_5m.img	5 Metros	IGAC
		sinergy_646_336_11-07-2005.img	10 Metros	IGAC
2013	Rapid eye	2013-12-27T160816_RE4_1BNAC_15318857_176565	5 Metros	IGAC
2019	Sentinel-2	S2A_MSIL2A_20190104T152631_N0211_R025_T18NYN_20190104T192952	10 metros	Copernicus.eu

**Nota.** Fuente: El autor

- **Identificación de coberturas – leyendas.**

La leyenda de *Corine Land Cover* de coberturas terrestres a escala 1:100.000 ha sido adoptada de manera institucional para Colombia, por tal motivo, fue utilizada en la interpretación de coberturas generadas por la CAS para los periodos mencionados anteriormente. En este sentido, la interpretación de coberturas faltante se realizó con base en la misma leyenda. Teniendo en cuenta la información que se puede extraer de los diferentes satélites utilizados, para cada uno de los periodos se consideró interpretar desde el nivel 3 o más para territorios artificializados, agrícolas, superficies de agua y áreas húmedas y entre 3 y 6 para bosques y áreas seminaturales.

De ahí que se consideró que la unidad mínima de mapeo de los niveles 2 al 5 fuese de 1 hectárea; sin embargo, se tuvieron en cuenta excepciones de área del nivel 3 y 5 específicamente, para las coberturas de tierras desnudas y degradadas, zonas arenosas naturales, cuerpos de agua artificiales y zonas industriales o comerciales.

- **Interpretación. Combinación de bandas**

Para la identificación de las coberturas establecidas en la leyenda de *Corine Land Cover*, según el sensor empleado, se tuvieron en cuenta las diferentes combinaciones de bandas, las cuales acentúan los tipos de coberturas. **Ver el anexo 3.**

- **Clasificación Supervisada.**

Una vez identificadas cada una de las coberturas se inició una clasificación supervisada por medio del Software Arcgis 10.5. Este procedimiento consiste en tomar muestras de las firmas espectrales de cada una de las coberturas con el fin de obtener numerosos polígonos que las representen y de esta manera agilizar el proceso de digitación e interpretación. Para ello, como primera medida, se aplicó la herramienta *Training Simple Manager* que arrojó un archivo tipo-gsg, posteriormente, una vez obtenidas las muestras de las coberturas, se utilizó la herramienta *Maximum Likelihood Classification*, la cual aplica un algoritmo encargado de realizar la clasificación supervisada, *arrojando como resultado los polígonos que deben ser guardados en formato tipo raster.*

- **Digitalización.**

Para iniciar el proceso de digitalización se debió pasar el archivo tipo ráster, obtenido de la clasificación supervisada, a vector, a través de la herramienta *Raster to Polygon*. Posteriormente, utilizando la herramienta *Eliminate* se procedió a realizar una limpieza de micro polígonos inferiores a una (1) hectárea; medida que previamente se había establecido como criterio de área de mapeo para la interpretación. Ahora, con el fin que la capa de cobertura no quedara con el escalamiento que se genera del ráster, se aplicó un suavizado de polígonos con la herramienta *Smooth Polygon* con una tolerancia de 40 metros. Al efectuar este suavizado se generaron errores geométricos que fueron corregidos a través de una validación topológica de sobrelapes y huecos.

Finalmente, con el resultado de la topología se inició la digitación y revisión de cada una de las coberturas identificadas según la leyenda Corine Land Cover, teniendo en cuenta las diferentes combinaciones de bandas según el sensor utilizado. **Ver el anexo 4.**

- **Empalme**

Con base en lo anterior, una vez realizada la clasificación de las coberturas de la tierra del área faltante, se procedió a efectuar el empalme con las capas de coberturas de cada uno de los periodos suministrados por la Corporación Autónoma Regional de Santander-CAS. Para el periodo o año 2019 se ajustó la capa de coberturas 2015-2016 con base en las imágenes Sentinel-2 de 2019.

- **Validación geométrica**

En conclusión, con el objeto de que los resultados finales de la información generada y empalmada con la suministrada por la CAS fuera consistente, se llevó a cabo una validación topológica para corregir cualquier tipo de error geométrico que se pudiese suscitar en la ejecución de alguno de los procesos anteriores.

Una vez, obtenidos los respectivos mapas de coberturas para los periodos 2005, 2013 y 2019, se validó el mapa de coberturas del año 2019 con la finalidad de conocer su exactitud temática o calidad. Para ello, se tuvo en cuenta la metodología planteada por (Romero et al. 2004, pp. 39-41), donde de acuerdo con el coeficiente de Kappa obtenido de 78,45 se pudo determinar que la fuerza de Concordancia es considerable. Para una mayor apreciación, **ver el anexo 5**

Con esta certeza, se procedió a calcular la matriz de cambio para los periodos 2005-2013, 2013-2019 y 2005-2019, mediante la ayuda de la herramienta de Geoprocessing-Intersect del SIG ArcGis 10.5, metodológicamente se sobrepuso el mapa de coberturas del periodo 2005 con el del año 2013, obteniéndose de esta manera las respectivas matrices, ver

el **anexo 6**. Para facilitar el tratamiento de las coberturas vegetales obtenidas, ellas se reagruparon como: Territorios Artificializados (TA), Cultivos agroforestales y permanentes (CAP), Pastos (LP, AR y ENM), Áreas agrícolas heterogéneas (AAH), Bosque denso y de galería (BD-Gal), Bosque fragmentado (BF), Herbazales y Arbustales (H-ARB), Vegetación secundaria o en transición (VST), Plantaciones forestales (PF), Superficies de agua (SA), Nubes (NB), teniendo en cuenta la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia (IDEAM, 2008, pp. 96-97).

A partir de los resultados obtenidos en las matrices de cambio, se calcularon indicadores como: pérdida y ganancias brutas, la estabilidad, el cambio total, el intercambio, el cambio neto etc. La tasa anual de cambio de las coberturas vegetales en cada periodo de tiempo se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$TCDC_{ijt1-2} = \left( \frac{\frac{SCT_{ijt2} - SCT_{ijt1}}{SCT_{ijt2}}}{(t_2 - t_1)} \right) \cdot 100$$

Donde:

- ✓  $TCDC_{ijt1-2}$  Es el promedio anual de variación en la superficie que ocupa la cubierta de la tierra  $i$ , en la unidad espacial de referencia  $j$  entre dos instantes de tiempo  $t$ , 1 y 2.
- ✓  $SCT_{ijt1}$  y  $SCT_{ijt2}$  Son las superficies que ocupa la cubierta de la tierra  $i$ , en la unidad espacial de referencia  $j$  entre los instantes de tiempo inicial 1 y final 2, respectivamente.
- ✓  $t_1$  y  $t_2$  Son los años correspondientes al instante de tiempo inicial 1 y final 2, respectivamente (López y Peña, 2013, p. 4; Rodríguez y Peña, 2013).

Ahora, para la identificación y comprensión de las transiciones sistemáticas por cada periodo del tiempo, además de la generación de las matrices de transición, se empleó la

metodología propuesta por Aldwaik y Pontius (2012), para examinar la intensidad del cambio de las coberturas vegetales impactadas.

Generados los respectivos mapas de coberturas de la tierra a escala 1:25.000 para cada uno de los periodos de tiempo, se procedió a desarrollar los demás procedimientos necesarios para la obtención del CCUS en el alto río Sogamoso en las dos últimas décadas.

Como se mencionó anteriormente, las UHN1 se definieron teniendo en cuenta el nivel jerárquico planteado en la guía técnica para la formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas POMCAS 2014 y el decreto 1640 de 2012.

#### ➤ **Identificación, Selección y Cálculo de Métricas del Paisaje**

Una vez, obtenidos los respectivos mapas de coberturas de la tierra según los periodos multitemporales objetos de analisis, se procedió a chequear la fragmentación con el objeto de deducir el impacto de la deforestación en los atributos ecologicos relacionados con la heterogenidad, configuración espacial y continuidad del paisaje o área objeto de estudio.

Procedimentalmente, primero que todo, se revisaron los trabajos desarrollados por:

(De Luque et al. 2019; Achicanoy et al. 2018; Páez, 2018; Aguilera, 2010; Aguilera y Botequilha, 2012; Matteucci y Silva, 2005) con la finalidad de reconocer ¿qué tipo de métricas de paisaje? aplicaron en sus estudios ¿qué criterios tuvieron en cuenta para la selección y aplicación? ¿qué herramientas utilizaron para su cálculo? y ¿qué modelos, técnicas o procedimientos aplicaron para reconocer la fragmentación en el paisaje?

Posteriormente, tomando como referencia los trabajos desarrollado por Páez (2018) y Velásquez (2017), se tomó la decision de seleccionar y calcular las métricas de la ecología del paisaje para los periodos 2013 y 2019 con la herramienta SIG Fragstats 4.2.

➤ Los principales índices de fragmentación calculados fueron:

- CLASES – Total Área (CA/TA)

- Número de parches (NP)
- Índice del parche más grande LPI
- Área núcleo efectiva de cada una de las unidades TCA
- Conectividad entre fragmentos - Distancia Euclidiana al vecino más cercano ENN\_MN.
- Continuidad longitudinal Cohesión o Índice de cohesión entre parches.
- Continuidad altitudinal – Rango.
- El Rango de continuidad altitudinal no se calculó con la herramienta Fragstats sino con la herramienta Arcgis 10.5 y con el modelo de elevación de 10 metros, según el área objeto de estudio. El **anexo 7** relaciona las características más importantes de las métricas seleccionadas.

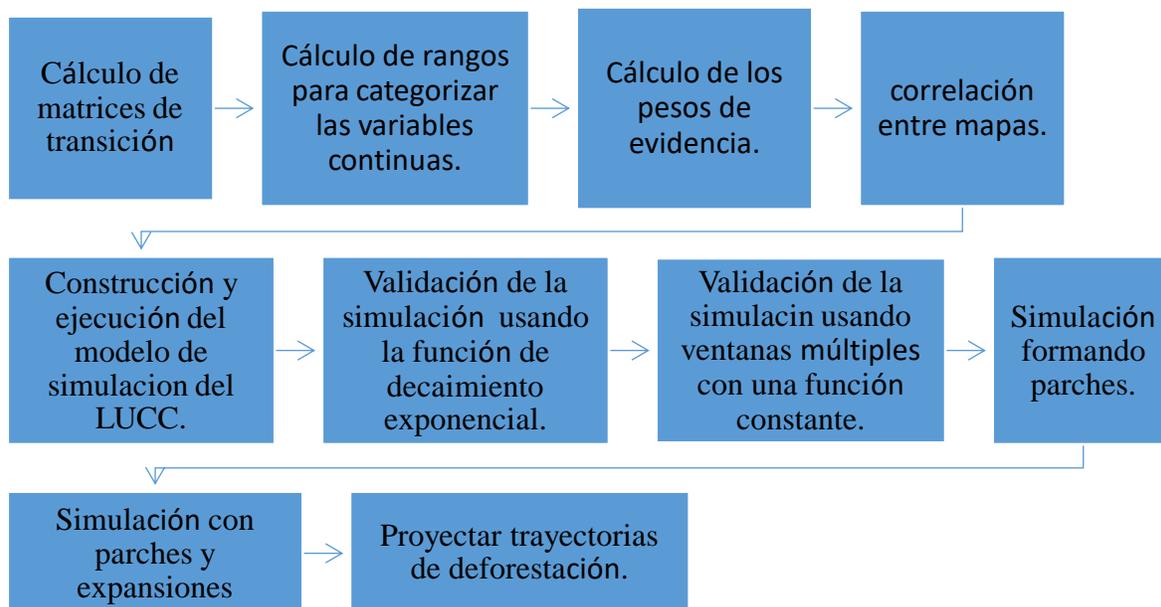
➤ **Calibración y Simulación de la Tendencia de la Deforestación o del CCUS**  
 Metodológicamente, según Mas y Flamenco (2011, pp. 1-24) la modelación – simulación del CCUS demandan tres (3) pasos: Calibración, Modelación y Proyección, los cuales amplia Espinoza-Mendoza (2016), como se evidencia en la figura 2.

❖ **Calibración del modelo: Pasos 1 al 4.**

✓ **Paso 1. Cálculo de la matriz múltiple de transición.**

Este proceso, Dinámica Ego lo complementa con la generación de la matriz de probabilidad de cambio, en la cual se puede encontrar fácilmente ¿cuáles son las coberturas vegetales con mayor probabilidad de ocurrencia o de cambio, según el periodo de tiempo analizado?, la finalidad en este punto es la de detectar ¿cuáles son las transiciones que se desean modelar?

**Figura 2 Pasos Utilizados por Dinámica Ego para el Modelamiento del CCUS**



**Nota:** Fuente. Espinoza-Mendoza 2016, p 6.

Se tomó la decisión de modelar las transiciones: a) CVN a Pastos y cultivos, b) CVN a CVSN y c) CVSN a pastos y cultivos, todas ellas como transiciones sistemáticas de deforestación y degradación del ecosistema objeto de estudio.

Una vez identificadas las transiciones a modelar, se continuó con el subproceso de identificación y selección de las variables explicativas o motores propulsores del cambio. Para este subproceso, metodológicamente las variables se identificaron y se seleccionaron teniendo en cuenta dos criterios fundamentales: 1) mediante la revisión bibliográfica y documental desarrollada en la primera fase como lo recomienda Espinoza-Mendoza (2016, p. 7) y 2) con el criterio deductivo y lógico en función del conocimiento del área objeto de estudio.

A partir de la revisión bibliográfica y documental, Mas y Flamenco (2011, p. 4), identificaron y emplearon ocho (8) variables explicativas para la Modelación de los Cambios de cobertura/Usos del suelo en una región tropical de México, Ellas son: - Modelo de

elevación digital, - Pendiente, - Distancia a carreteras, - Distancia a poblaciones, - Distancia a rasgos hidrográficos, - Áreas protegidas, - Distancia a ciertos CCUS-Cambios uso del suelo y Tenencia de la tierra.

Un trabajo mucho más profundo, en cuanto al número de variables explicativas empleadas, posiblemente por ser a escala nacional, es el desarrollado por Zamora Pereira et al. (2016), donde para identificar los escenarios de Deforestación Futura de Panamá emplearon un total de 31 variables explicativas, agrupadas en tres grandes características: - Geofísicas, - Costos de transporte y – Arreglos sociales y políticos.

Otro trabajo consultado es el de Osorio et al. (2015), los cuales identificaron y emplearon un total de 13 variables explicativas del cambio; como son: Pendiente, - Altitud, - Tipo de suelo, - Distancia a ríos, - Distancia a carreteras, - Distancia a localidades, Población total, - Proporción de población masculina, - Proporción de población de 15 a 49 años, - Proporción de población analfabeta, - Proporción de viviendas habitadas con piso de tierra, Proporción de población sin acceso a servicios a la salud y – Proporción de población económicamente activa.

En síntesis, gracias a la revisión bibliográfica y documental se pudo identificar y seleccionar las principales variables explicativas o motores impulsores del cambio, las cuales evidencian las siguientes características: 1) el empleo de variables explicativas en relación a cuántas emplear, dependiendo en gran medida de la información existente, 2) del presupuesto y tiempo con el que se disponga; si existe la necesidad de crearlas; bien sea porque no existen o por que las existentes están muy desactualizadas, 3) a escala local, esta tarea es un poco compleja, ya que algunos organismos territoriales a la fecha no han actualizado sus POT/PBOT/EOT , y 4) la información de la primera generación este tipo de estudios por lo general se encuentra en escala 1:100.000 y en formato AutoCAD.

Para continuar con el proceso, la tabla 4 sintetiza las variables identificadas como motores propulsores del cambio y empleadas en el diseño de cada escenario futuro.

**Tabla 4 Variables Explicativas o Motores Propulsores del Cambio Empleadas en la Modelación**

Insumo	Descripción	Magnitud de la variable	Fuente
Mapas de coberturas vegetales de la tierra/ usos del suelo*.	Mapa de coberturas vegetales del $t_0$ (año 2005).	Representan los tipos de leyendas como también la dinámica espacial multitemporal de cada periodo de tiempo.	CAS y elaboración propia.
	Mapa de coberturas vegetales del $t_1$ (año 2013).		CAS y elaboración propia.
	Mapa de coberturas vegetales del $t_2$ (año 2019).		Elaboración propia.
Modelo de elevación digital-DTM*. Pendiente-Pen*.	Pendiente en grados obtenido a partir del DTM.	Evidencian la aptitud del área objeto de estudio.	Shapefile POMCA del río Sogamoso. Shapefile POMCA del río Sogamoso.
Áreas de protección natural + Áreas de protección natural de la sociedad civil – ARN*.	Polígono del Parque natural los Yariguies Polígonos de reservas de la sociedad civil.	Representa las áreas declaradas de protección vitales para la conservación del ecosistema.	Portal de datos libres del IGAC y de Parque nacionales de Colombia.
Vías*.	Distancia Euclidiana a vías primarias y secundarias	Evidencia el acceso al área objeto de estudio.	Elaboración propia.
Ríos*	Distancia Euclidiana a Ríos.		Elaboración propia.
Centros Poblados-CPOB*.	Distancia Euclidiana a CPOB.		Shapefile POMCA del río Sogamoso.
Índice de presión demográfica – IPD*.	Distancia Euclidiana a IPD.	Evidencia la presión demográfica en el área objeto de estudio.	Shapefile POMCA del río Sogamoso.
Pastos y cultivos – PyCultiv*.	Distancia Euclidiana a Pastos y Cultivos.	Incorpora las superficies dedicadas a procesos agropecuarios.	Elaboración propia Insumos del Pomca-Sogamoso.
Deforestación-Def*.	Distancia Euclidiana a DEF.	Representa las superficies deforestadas.	Elaboración propia Insumos del Pomca-Sogamoso.
Áreas Hidrocarburos*	Distancia Euclidiana a Hidroc.	Representa las áreas con proyectos de hidrocarburos.	Elaboración propia Insumos del Pomca-Sogamoso.

Minería*	Distancia Euclidiana a Minería.	Representa las áreas con títulos mineros vigentes.	Elaboración propia Insumos del Pomca-Sogamoso.
Tendidos eléctricos*	Distancia Euclidiana a Minería.	Representa las áreas con líneas eléctricas.	Elaboración propia Insumos del Pomca-Sogamoso.
Reforestación-Ref**	Distancia Euclidiana a Ref.	Representa las superficies recuperadas.	Elaboración propia Insumos del Pomca-Sogamoso.
Zonas de preservación**	Distancia Euclidiana a ZPreserv.	Representa las áreas declaradas de preservación en el POMCA del río Sogamoso.	Elaboración propia Insumos del Pomca-Sogamoso.
CVN**	Distancia Euclidiana a CVN.	Representa las áreas de CVN.	Elaboración propia Insumos del Pomca-Sogamoso.
CVSN**	Distancia Euclidiana a CVSN.	Representa las áreas de CVSN.	Elaboración propia Insumos del Pomca-Sogamoso.
Ríos_Bufer**	Distancia Euclidiana a Ríos_Bufer	Representa las áreas de rondas hídricas.	Elaboración propia Insumos del Pomca-Sogamoso.
Minería_2***	Distancia Euclidiana a Minería_2.	Representa las áreas con títulos mineros vigentes + títulos mineros de solicitud.	Elaboración propia Insumos del Pomca-Sogamoso.

**Nota 1.** \* Variables empleadas en la construcción del Escenario futuro 1 o de tendencia

**Nota 2.** \*\* Variables empleadas en la construcción del Escenario futuro 2, optimista – deseado. Además de estas variables, este escenario incluye: Mapas de coberturas vegetales de la tierra/ usos del suelo 2005, el modelo de elevación digital-DTM, Pendiente-Pen, Áreas de protección natural + Áreas de protección natural de la sociedad civil –ARN, Vías, Ríos y Centros Poblados\_CPOB.

**Nota 3.** \*\*\* Variables empleadas en la construcción del Escenario futuro 3, pesimista - no deseado. Además de todas las variables empleadas en el escenario futuro 1.

**Nota 4.** Fuente: El autor tomando como referencia a (López, 2017, p. 37)

### ✓ Paso 2. Cálculo de rangos para categorizar las variables continuas.

Una vez identificadas y seleccionadas las variables explicativas o motores propulsores del cambio, se procedió al cálculo de los rangos con el objeto de categorizar las variables continuas. Este proceso consta en ingresar al funtor denominado “Determine Weights of evidence Ranges” y asignar un valor inicial de 1 en la ventana denominada “Increment” para cada una de las variables, generando una salida “Save Table” en formato c.csv, en el cual se puede observar los rangos generados.

✓ **Paso 3. Cálculo de los pesos de evidencia.**

Este paso implica el cálculo de los pesos de evidencia por cada una de las variables explicativas involucradas. Ellos se obtuvieron, ajustando poco a poco desde el funtor “Determine Weights of evidence Ranges” los rangos de cada variable explicativa mediante la ventana denominada “Increment” Este es un subproceso iterativo, que poco a poco se van ajustando los rangos de incremento, observando el comportamiento de la variable, hasta obtener una tendencia bien definida (reducir el ruido de la variable) por cada una de las variables involucradas, como se evidencia en la siguiente figura 3.

**Figura 3 Tendencia Definida de una Variable con Dinámica Ego**



**Nota.** Fuente: El autor.

✓ **Paso 4. Análisis de la correlación.**

La fase de calibración se cierra con el análisis de la correlación entre las variables explicativas. De acuerdo con (López, 2017, p. 128), se tuvo en cuenta el “límite de tolerancia adoptado para el índice de Cramer menor a 0,45” Sin embargo, en las tres transiciones simuladas, la variable áreas de reserva natural o protegidas- ARN presentó un índice mayor a 0,45 con el modelo de elevación digital. Por la importancia de las dos variables, se tomó la decisión de dejarlas.

### ❖ **Simulación del modelo. Paso 5 al 9.**

#### ✓ **Paso 5. Construcción y ejecución del modelo de simulación.**

Este subproceso implica, la creación de los mapas de probabilidad de deforestación (uno por cada transición trabajada), para posteriormente contrastarlos con el mapa observado del periodo  $t_2$  o año 2019. El propósito del contraste, es la de detectar la capacidad explicativa del modelo para predecir el cambio, “de forma tal que sea lo más parecido posible a la realidad” (Espinoza-Mendoza, 2017, p. 9).

#### ✓ **Pasos 6 y 7. Validación del Modelo**

Para la validación del modelo, Dinámica Ego emplea dos funciones de decaimiento, la primera es la prueba de la función de decaimiento exponencial, aplicada por defecto a un tamaño de ventana de 11 píxeles (330m x 330 m<sup>2</sup>). La segunda prueba de validación trabaja con la función constante de decaimiento con ventanas múltiples generando comparaciones desde una ventana de tamaño de un píxel (30\*30 m o 900 m<sup>2</sup> en la realidad), lo que se incrementa de dos en dos hasta 15 píxeles (450\*450 m o 202, 500 m<sup>2</sup> en la realidad). La ventaja de la validación con Dinámica Ego, es que se puede obtener el potencial del modelo comparando lo simulado con lo real de manera sencilla” (Espinoza-Mendoza, 2017, p. 10).

#### ✓ **Pasos 8 y 9. Simulación con formación de parches**

Los pasos 8 y 9, demandaron desarrollar las siguientes tareas:

1. Encontrar los polígonos de cada transición, es decir la deforestación, los cuales se obtuvieron con la herramienta Arcgis 10.5, mediante la intercepción de los mapas de coberturas.
2. Posteriormente, a identificar en cada transición ¿qué porcentaje son por expansión? y ¿qué porcentaje son por nueva semilla o nuevos parches? En este punto se tuvo en

cuenta la significancia del peso porcentual de los parches por expansión o nueva semilla, para continuar con el proceso.

3. Después, se calcularon los parámetros de expansión de los parches, tamaño medio del parche en (Ha), tamaño medio de la varianza en (Ha) y la isometría de cada parche.
4. Con los insumos de los puntos 2 y 3, se introdujeron los respectivos valores en el funtor denominado “Update Landscape (Submodel), para chequear la calidad del mapa simulado al periodo  $t_2$  (2019).
5. Por último, se evaluó visualmente la capacidad explicativa o de desempeño del mapa simulado, comparándolo con el mapa real del año 2019.

❖ **Proyección del modelo y diseño de escenarios futuros.**

✓ **Paso 10. Proyección de la trayectoria de deforestación**

Calibrado y evaluado el modelo se procedió a diseñar los escenarios futuros, en función de las necesidades analíticas que se requieran. Hasta aquí, el modelo contiene las variables insumo, el mapa con el cual se pretende proyectar el modelo diseñado, la matriz de transición producto del periodo estudiado y los coeficientes de los pesos de evidencia de las variables explicativas (López et al. 2018; Espinoza-Mendoza, 2017, p. 12).

➤ **Diseño y Construcción de los Escenarios Futuros.**

Una vez, desarrollado el procedimiento metodológico declarado anteriormente, se procedió a construir/modelar los tres escenarios futuros, ellos son:

- **Escenario Futuro de Tendencia.**

Este modelo parte del supuesto que para la próxima década o año 2030, la deforestación continua normalmente experimentando tasas de crecimiento anual iguales a las evidenciadas en el periodo 2005-2019.

Para ello, se calibraron y se simularon las transiciones: CVN a Pastos y Cultivos (3-2), CVN a CVSN (3-4) y CVSN a Pastos y Cultivos (4-2). Son transiciones que, de acuerdo a la matriz de cambio obtenida, mostraron: 1) ser las dominantes y 2) evidencian el CCUS y de la deforestación/degradación, fundamentalmente.

Las principales variables empleadas para construir este modelo fueron: Mapa de coberturas año 2005, Mapa de coberturas año 2013, modelo de elevación digital-DTM, Áreas de reserva Natural-ARN, Áreas de Minería-Minería, Área de Tendidos eléctricos-Tend\_eletric, Áreas de hidrocarburos-AHidroc, Áreas deforestadas-deforestación, DTM-Pendiente, Áreas de pastos y cultivos-PyCultv, Áreas de índice de presión\_IPD, Áreas de Vías, Áreas de Ríos y Centros poblados-CPOB.

Para la transición (3-2) CVN a Pastos y cultivos se eliminó la variable tendidos eléctricos por mostrar una correlación superior del 0,63. Para la transición (3-4) CVN a CVSN se eliminó la variable Minería por mostrar una correlación superior del 0,55 y para la transición (4-2) CVSN a pastos y cultivos se eliminó la variable tendidos eléctricos por mostrar una correlación superior del 0,59.

#### - **Escenario Futuro Optimista o Deseado.**

Este modelo parte del supuesto que para la próxima década o año 2030 se implementarán procesos de *Conservación – Recuperación y/o de reforestación*. Modela los efectos que a futuro pueden tener las acciones recomendadas, partiendo del supuesto que ellas impulsan y generan un proceso de reforestación y/o recuperación ambiental en la próxima década.

Se calibraron y se simularon las transiciones: Pastos y Cultivos a CVN (2-3), Pastos y Cultivos a CVSN (2-4) y CVSN a CVN (4-3). Son transiciones que, de acuerdo a la matriz

de cambio obtenida, mostraron: 1) ser las dominantes y 2) evidencian procesos de recuperación y/o de reforestación.

Las principales variables empleadas para construir este modelo fueron: mapa de coberturas año 2005, mapa de coberturas año 2013, modelo de elevación digital-DTM, áreas de reserva natural-ARN, áreas reforestadas, DTM-Pendiente, Áreas recuperadas, áreas de Vías, áreas de Ríos, Área de Centros poblados, áreas de CVN, áreas de CVSN, área de zonas de preservación y área búfer a los ríos. No se encontraron variables con problemas de correlación.

**- Escenario Futuro Pesimista o no Deseado.**

En este modelo se contempló una deforestación mayor a la observada en el periodo 2005-2019, partiendo del supuesto; 1) no se mantienen las áreas declaradas de recuperación y preservación, 2) la solicitud de nuevos títulos mineros ejerce una mayor presión en el área objeto de estudio y 3) la implementación/puesta en marcha del plan de usos alternativos del embalse aumenta la presión de cambio de uso del suelo. Se supone, que estos tres principales motores de cambio generaran en la región una dinámica de explosión o un crecimiento mucho más volatín.

### ***3.3.3 Fase de Análisis e Interpretación de la Información***

Esta fase integra las actividades relacionadas con la manipulación y tratamiento de la información, esencialmente; la tarea de la triangulación de métodos, técnicas y estrategias, para dar respuesta a los planteamientos, objetivos, supuestos y productos diseñados en el objeto de investigación: Incidencia del CCUS en las UHN1 en el alto río Sogamoso para el ordenamiento territorial (Aguilar y Barroso, 2015).

Así, por ejemplo, la triangulación de la información permite *enriquecer* los datos cualitativos para reconocer contrariedades o antecedentes “sobre variables [que no son

posible obtenerse mediante] enfoques cuantitativos”, lo mismo sucede si se parte de datos cuantitativos, se pueden enriquecer con métodos cualitativos. La mezcla de métodos *mejora el proceso explicativo y argumentativo* de lo “no previsto de los datos” en el método cualitativo o cuantitativo. Por último, la triangulación de la información *permite validar* (ratificando o confirmando o refutando) los supuestos de investigación planteados en función de los datos cualitativos y cuantitativos obtenidos (Peersman, 2014).

### 3.4. Técnicas e Instrumentos

Existe una amplia variedad de técnicas e instrumentos para recoger y analizar información en cualquier proceso de investigación científica. La utilidad de ellas, es la de ¿cómo contribuyen a la comprensión de la problemática objeto de estudio, especialmente, para el surgimiento de los significados en el proceso de comprensión dialéctica de los fenómenos?, ya que los “estudio mixto implica un trabajo único y un diseño propio” (Hernández Sampieri et al. 2014, p. 545).

#### 3.4.1 Técnicas de Investigación

- **Técnicas de investigación bibliográficas y documental.** Consiste en la revisión bibliográfica de las principales teorías, conceptos, planteamientos y metodologías de ¿cómo se ha abordado? el objeto de investigación. Inicialmente, para fortalecer el planteamiento de la investigación y del marco teórico, pero fundamentalmente, como guía en el proceso de “teorización”, es decir, “si el estudio se guía o no por una perspectiva teórica con mayor alcance” (Hernández Sampieri et al. 2014).

En este sentido, la presente investigación se guió por la perspectiva teórica del CCUS, para ello: 1) se revisaron artículos acreditados sobre la temática objeto de estudio, 2) se examinaron documentos técnicos como los planes y/o esquemas básicos de ordenamiento territorial, 3) planes de ordenamiento de cuencas hidrográficas, como el POMCA del río

Sogamoso, esencialmente, 4) documentos técnicos y/o boletines de organizaciones sin ánimo de lucro como la Fundación Natura, Humedales y ríos vivos Santander y 5) los diseños para licitación y estudio de impacto ambiental: proyecto Hidrosogamoso-ISAGEN.

- **Técnicas de investigación, descriptivas, interpretativas, argumentativas y propositivas.**

Para el presente estudio, las técnicas descriptivas se relacionan a la caracterización del medio físico del área de estudio y la reiteración enfática de las principales características detectadas, producto de la interpretación cartográfica del territorio. Las técnicas argumentativas hacen alusión al sustento del ¿cómo, por qué y dónde? se han dado las actividades antropogénicas en el territorio por parte de los actores sociales, mientras las técnicas propositivas están relacionadas con la deducción, identificación y sugerencia de acciones que contribuyan al mejoramiento de la problemática objeto de estudio en el área de estudio (Tamayo y Tamayo, 2014, pp. 62-107).

- **Técnicas de interpretación de imágenes satelitales.**

La técnica de interpretación de imágenes satelitales es un procedimiento que busca estudiar los componentes que capturan y poseen las imágenes satelitales provenientes de los sensores remotos. Información que se debe identificar, procesar, reagrupar en función de las necesidades investigativas (Serrato, 2018, p. 1).

Para la presente investigación, se aplicaron técnicas de interpretación visual de imágenes satelitales para tres periodos de tiempo 2005, 2013 y 2019, con la finalidad de extraer de ellas información relacionada con los tipos de territorios artificializados, usos del suelo, coberturas vegetales, ríos, carreteras, tendidos eléctricos, como también; los valores numéricos de sus composiciones estructurales, para la actualización y creación de los mapas de coberturas vegetales; insumo esencial para estudiar el cambio multitemporal de coberturas

vegetales/uso del suelo, los procedimientos para la interpretación de imágenes satelitales se ejecutaron mediante la herramienta SIG ArcGis 10.5, teniendo en cuenta los trabajos de (Ubeda y Rocha, 2020; Alvear, 2018; IGAC, 2017; Monterroso, 2013).

- **Técnicas cartográficas y estadísticas.**

Las técnicas cartográficas y estadísticas suministran valiosa información de las “diversas expresiones gráficas” del “espacio y geodesia” vitales, por ejemplo, para los procesos de ordenamiento territorial. Gracias a la versatilidad de los actuales SIG, las técnicas cartográficas y estadísticas poseen un potencial incalculable para determinar el cambio de cobertura/uso del suelo, su tendencia y predicción. No solo nos ayuda a ubicar en el espacio geográfico la ocurrencia de las actividades antropogénicas y magnitud cuantitativa de la misma. Si no también, la generación de insumos para interpretar mediante diferentes técnicas la evolución histórica del territorio (Zumaeta, 2019; Osorio et al. 2015).

- **Técnicas de modelación.**

Hacen relación a ¿cómo o qué? procesos se deben tener en cuenta para la construcción de modelos que faciliten la comprensión y visualización de los procesos de deforestación y/o de cambio de cobertura de la tierra/uso del suelo. Se entiende por modelo, un objeto abstracto o constructo que representa una realidad o un conjunto de elementos en el tiempo espacio y con el cual se pueden recrear los comportamientos y tendencias de un fenómeno (Rekacewicz, 2003).

Para el presente estudio, se aplicó la técnica de modelación con la herramienta Dinámica Ego, para la construcción de un modelo base que: a) permitiera una mejor comprensión y visualización de los procesos de deforestación y/o de cambio de cobertura de la tierra/uso del suelo en la parte alta de la cuenca del río Sogamoso y b) el diseño de

escenarios futuros para evaluar la probabilidad de cambio y sus impactos en el territorio objeto de estudio (Padilla et al. 2015).

### ***3.4.2 Instrumentos de Investigación***

Se tuvieron en cuenta los siguientes instrumentos:

- Percepción Remota y Sistemas de Información Geográficos (SIG)
- Imágenes satelitales.
- Métricas de la Ecología del Paisaje
- Modelamiento y simulación del CCUS con Dinámica Ego

Por último, metodológicamente se resalta lo innovador e interesante que puede llegar a ser, concebir el ordenamiento territorial en el alto río Sogamoso desde la perspectiva de unidades hidrográficas de nivel 1 y no tanto desde los límites administrativos de los organismos territoriales, ya que las UHN1 son sistemas socioecológicos más de carácter regional, que municipal. Analizar el ordenamiento territorial desde el enfoque de UHN1, exige el reto 1) de concebir e innovar técnicas y herramientas, validar su pertinencia y aporte, 2) optimizar recursos económicos y humanos entre los organismos territoriales impactados y 3) diseñar políticas, pero especialmente programas y proyectos comunes entre los organismos territoriales, los cuales, sin duda alguna pueden mejorar sustancialmente el marco teórico, conceptual, operativo y financiero para el alcance del desarrollo territorial sostenible.

## IV. Principales Resultados Obtenidos

Este capítulo presenta los principales resultados obtenidos y con los cuales se da respuesta a cada uno de los planteamientos, *objetivos y supuestos* esbozados en los capítulos anteriores. Ellos se derivan de la ejecución de cada una de las fases o etapas planteadas en el diseño metodológico del presente estudio.

### 4.1 Objetivo específico 1: Identificar el Cambio en la Cobertura de la Tierra en las Unidades Hidrográficas de Nivel 1 del Alto Río Sogamoso

En las siguientes líneas se presentan los resultados obtenidos en la *Identificación del cambio en la cobertura de la tierra en las unidades hidrográficas de nivel 1 del alto río Sogamoso*. Dichos resultados provienen de la ejecución de la fase de indagación y consulta, fase de construcción cartográfica e insumos claves y de la fase de tratamiento e integración de datos mediante la triangulación o mezcla de métodos, técnicas y herramientas.

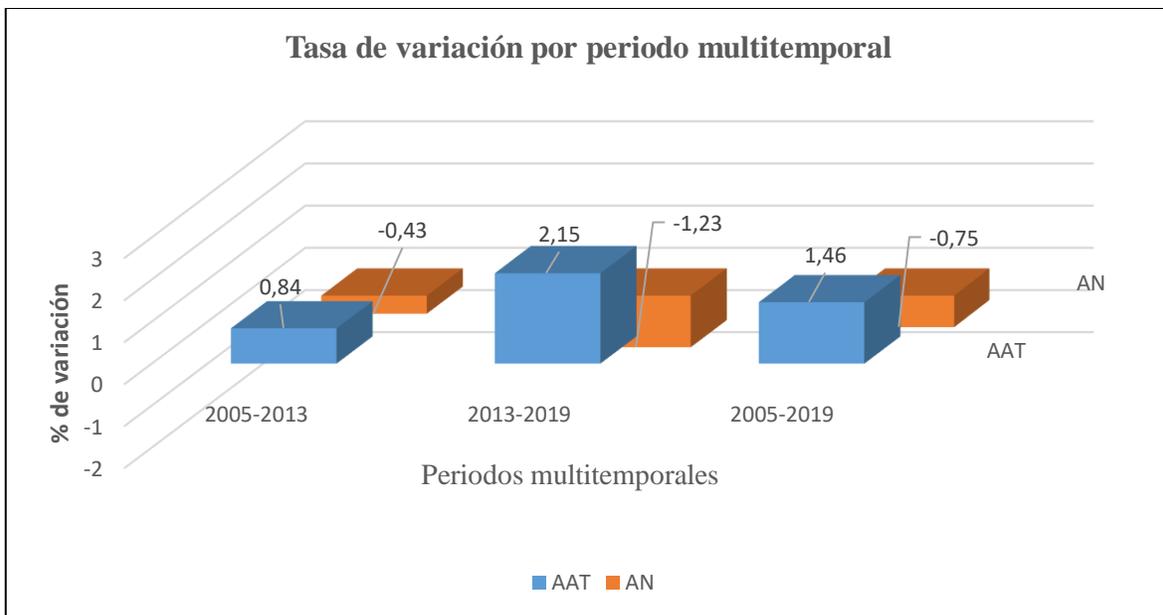
#### 4.1.1. Análisis por Tipo de Cobertura Vegetal Identificada, Según Periodo de Tiempo

Producto de la clasificación supervisada se obtuvieron entre 48 a 52 tipos de coberturas vegetales con un nivel de detalle de mínimo al nivel tres (3) de acuerdo con la metodología Corine Land Cover para cada uno de los periodos multitemporales objeto de análisis, 2005-2013, 2013-2019 y 2005-2019. Posteriormente, para una mejor comprensión, espacial e identificación de la dinámica de cambio, se reagruparon las coberturas vegetales obtenidas en 13 categoría como: Territorios Artificializados TA, Cultivos agroforestales y permanentes CAP, Pastos Limpios, Arbolados y Enmalezados LP, AR y ENM, Áreas agrícolas heterogéneas AAH, Áreas abiertas AAB, Plantaciones forestales PF, Cuerpos de agua artificiales CAA, Áreas artificializadas o intervenidas AAT, Bosque denso y de galería BD\_Gal, Bosque fragmentado BF,

Herbazales y arbustales H-ARB, Vegetación secundaria o en transición VST, Superficies de agua SA, Nubes NB, Área Naturales AN y áreas artificializadas o intervenidas AAT. **Ver el anexo 8.**

En este mismo anexo, se puede evidenciar una significativa participación de las AN en la parte alta de la cuenca del río Sogamoso con una participación entre el 66% al 59% con respecto al área total objeto de estudio. Asimismo, se puede observar la dinámica de cambio positivo que las AAT experimentaron entre los periodos multitemporales objeto de análisis, donde se encontraron tasas de crecimiento anual del 0,84% al 2,15%, mientras las AN experimentaron tasas de cambio negativas que oscilan entre el -0,43% al -1,23%, es decir, un total de -9647,18 Ha, siendo el periodo de 2013-2019 el de mayor notoriedad con una pérdida de -6487,51, mientras en el periodo 2005-2013 perdieron -3159,67 Ha. Ver la figura 4.

**Figura 4 Tasa de cambio anual de las AAT y AN, según periodo multitemporal**



Fuente: El autor.

Continuando, si se observa la tabla 5 se puede apreciar la dinámica y magnitud de cambio entre tipos de coberturas vegetales para los periodos multitemporales 2005-2013, 2013-2019 y 2005-2019.

**Tabla 5 Cambios Encontrados por Tipos de Cobertura en la Parte Alta de Cuenca del Río Sogamoso - Periodos 2005-2013 y 2013-2019**

Tipo de Cobertura	Cambio en Hectáreas			Tasa de cambio anual %		
	2005-2013	2013-2019	2005-2019	2005-2013	2013-2019	2005-2019
(TA)	257,89	93,37	351,2	1,78	0,75	1,39
(CAP)	338	1744,9	2082,9	1,28	8,01	4,52
(LP, AR y ENM)	489	-1613,5	-1124,5	0,37	-1,59	-0,49
(AAH)	1473,2	-317,6	1155,6	0,76	-0,21	0,34
(AAB)	317,9	68,8	386,7	4,33	0,93	3,01
(PF)	287,5	713,7	1001,3	10,62	19	21,14
(CAA)	-3,99	5797,8	5793,8	-0,8	1663,88	666,78
<b>(AAT)</b>	<b>3159,67</b>	<b>6487,5</b>	<b>9647,1</b>	<b>0,84</b>	<b>2,15</b>	<b>1,46</b>
(BD-Gal)	-230,5	-538,8	-769,4	-0,12	-0,39	-0,23
<b>(BF)</b>	<b>-331,8</b>	<b>-1727,8</b>	<b>-2059,7</b>	<b>-0,30</b>	<b>-2,11</b>	<b>-1,05</b>
<b>(H-ARB)</b>	<b>-907,5</b>	<b>-2967,6</b>	<b>-3875,2</b>	<b>-0,30</b>	<b>-1,32</b>	<b>-0,72</b>
<b>(VST)</b>	<b>-1820,8</b>	<b>-1131,9</b>	<b>-2952,7</b>	<b>-1,61</b>	<b>-1,53</b>	<b>-1,49</b>
<b>(AN)</b>	<b>-3159,67</b>	<b>-6487,51</b>	<b>-9647,18</b>	<b>-0,43</b>	<b>-1,23</b>	<b>-0,75</b>

**Nota 1:** TA: Territorios Artificializados, CAP: Cultivos agroforestales y permanentes, LP, AR y ENM: Pastos Limpios, Arbolados y Enmalezados, AAH: Áreas agrícolas heterogéneas, AAB: Áreas abiertas, PF: Plantaciones forestales, CAA: Cuerpos de agua artificiales, AAT: Áreas artificializadas o intervenidas, BD\_Gal: Bosque denso y de galería, **BF**, Bosque fragmentado, **H-ARB**: Herbazales y arbustales, **VST**: Vegetación secundaria o en transición, SA: Superficies de agua, NB: Nubes y AN Área Naturales.

**Nota 2:** Fuente: El autor.

Se puede observar, que para el periodo 2005-2019 son las coberturas vegetales de bosques fragmentados (BF), los herbazales-arbustales (H-ARB) y la vegetación secundaria en transición (VST), las que más experimentaron pérdidas, entre -331,8 a -1820,8 hectáreas, con tasas de crecimiento anual que oscilaron entre el -0,30 al -1,61. Siendo la cobertura de (VST) la de mayor pérdida con -1820,8 ha, seguida de los (H-ARB) con -907,5 ha, el (BF) con -331,8 ha, la cobertura de (BD-Gal) con -230,5 ha y por último las (AN) con -22,41 ha.

Mientras para el periodo 2013-2019, se observa que la dinámica de cambio es mucho más alta o fuerte; solo que para este periodo son los (H-ARB) la cobertura natural que mayor experimenta pérdidas con -2967,6 ha, seguida del (BF) con -1727,8 ha, mientras la tercera cobertura que experimenta pérdidas es la (VST) con -1131,9 ha, igualmente, las (SA) y el (BD-Gal) experimentan pérdidas entre -41,6 y -538,8 ha. También se observa, que las tasas de cambio anual oscilan entre el -0,39% y el -2,11%, siendo las coberturas vegetales de (BF), (H-ARB) y la de (VST), las de mayores tasas % de cambio.

Ahora, si se chequea la dinámica de cambio entre los tipos de cobertura para el periodo 2005-2019, estructuralmente la dinámica es muy similar a la de los periodos 2005-2013 y 2013-2019: 1) las coberturas vegetales naturales continúan mostrando tasa de cambio anuales negativas, que oscilan entre el -0,23 al -1,49. 2) las coberturas vegetales de (BF), (H-ARB) y (VST), continúan siendo las dominantes o las de mayores tasas de cambio. 3) las coberturas vegetales de (VST) son las que se mantienen constantes en los tres periodos multitemporales objeto de análisis, con tasas de cambio que oscilan entre el -1,49 al -1,61. Seguida de la cobertura vegetal de (BF) que experimenta cambios significativos que oscilan entre el -1,05 al -2,11 en los periodos 2013-2019 y 2005-2019. Para los mismos periodos temporales, los (H-ARB) experimentan una dinámica de cambio muy similar, pero con tasa de cambio anuales que oscilan entre -0,72 al -1,32. 4) las coberturas vegetales de (BD-Gal) y (SA) en los tres periodos multitemporales experimentaron tasas anuales de cambio negativas más bien bajas que oscilan entre el -0,12 y el -0,54.

Aún más, nótese en las tablas 5 que el cambio es positivo para el caso de las coberturas artificializadas o intervenidas (AAT), predominando para el periodo 2005-2013 las coberturas de plantaciones forestales (PF) con una tasa anual de cambio del 10,62, seguidas

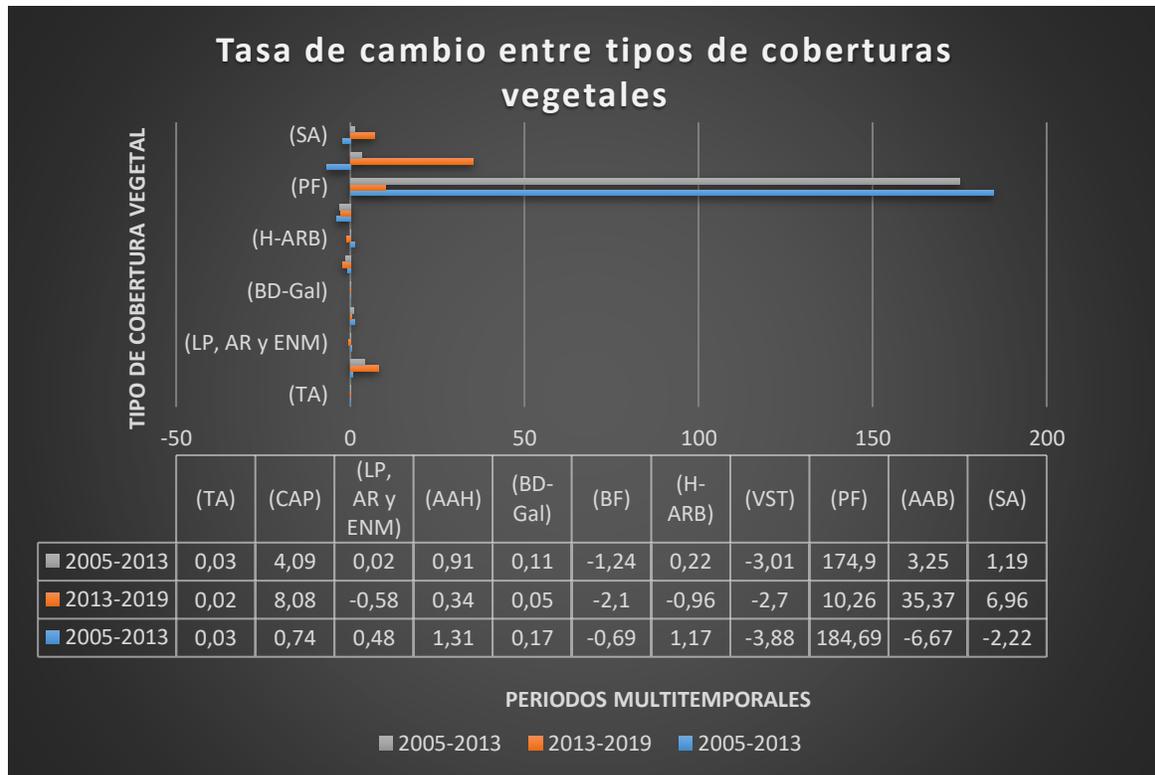
de las áreas abiertas (AAB) con una tasa anual de cambio del 4,33. Mientras los territorios artificializados (TA) y los cultivos agroforestales y permanentes (CAP) experimentaron tasas de cambio entre el 1,28 y el 1,78.

Sin embargo, para el periodo del 2013-2019 se evidencia una nueva dinámica de CCUS en la parte alta de la cuenca del río Sogamoso, fundamentalmente por la construcción y puesta en funcionamiento del embalse hidroeléctrico “Topocoro Hidrosogamoso”, que, sin duda alguna, alteró la dinámica espacial del territorio y de las coberturas vegetales identificadas, esto explica la tasa de cambio anual tan alta en la cobertura cuerpos de agua artificiales (CAA), la cual fue de 1663,88. La segunda cobertura que evidencia tasas de cambio significativas, son las plantaciones forestales (PF) con una tasa de cambio anual del 19% y los cultivos agroforestales y permanentes (CAP) con una tasa de cambio anual del 8,01%. Otro dato que resalta la atención es el hecho, que la categoría de pastos limpios, arbolados y enmalezados (LP, AR y ENM) junto con la categoría de áreas agrícolas heterogéneas (AAH), experimentaron tasas de cambio anual negativas que oscilan entre el -0,21 al -1,59, mientras los territorios artificializados (TA) evidencian una tasa de cambio anual baja del 0,75%.

Finalmente, si se observa la tasa de cambio anual para el periodo 2005-2019 se puede comprobar la nueva dinámica de cambio en función de los cuerpos de agua artificiales (CAA), seguida por la cobertura de plantaciones forestales (PF) con una tasa de cambio del 21,14, la cual en cada uno de los periodos multitemporales objeto de estudio es progresiva, igual similitud experimenta la cobertura de cultivos agroforestales y permanentes (CAP), la cual en los tres periodos objeto de estudio son progresivos y positivos, con tasas de cambio que oscilan entre 1,2 y el 8,01. Mientras las áreas agrícolas heterogéneas evidenciaron tasas irregulares de cambio 4,33 para el primer periodo, 0,93 para el segundo y 3,01 para el tercero.

A manera de ilustración, en la figura 5 se puede observar cómo se comportaron las tasas anuales de cambio por tipo de cobertura vegetal, según los periodos multitemporales objeto de estudio.

**Figura 5 Tasa de Cambio Anual por tipo de cobertura, Según Periodo multitemporal objeto de estudio**



Fuente: El autor.

Recapitulando hasta aquí, se puede confirmar que en el periodo 2005-2013 primaba en la parte alta de la cuenca del río Sogamoso una dinámica productiva basada en actividades agrícolas que ocupaban un total 24307,01 hectáreas, es decir, un 17,55% con respecto al área total objeto de estudio, complementada con actividades de ganadería, las cuales demandaban un total de 16442,12 hectáreas en pastos y de cultivos agroforestales y permanentes, y por consiguiente demandaban un total de 3294,92 hectáreas, es decir un 2,38%.

Sin embargo, para el periodo 2013-2019 la dinámica de uso de suelo cambio significativamente, primando la dinámica de los cuerpos de agua artificiales (CAA), es decir el embalse de Hidrosogamoso, como también, las coberturas vegetales de plantaciones forestales (PF) y la de cultivos agroforestales y permanentes (CAP). Otro hallazgo, es la reducción de la tasa de cambio de las áreas agrícolas heterogéneas (AAH), la cual para el periodo 2005-2013 era del 0,76, en el periodo 2013-2019 paso a -0,21 y para el periodo 2005-2019 pasó a ser de 0,34.

#### ***4.1.2. Análisis de las Ganancias, Pérdidas y Cambio Neto, según Tipo de Cobertura Vegetal***

##### **➤ Periodo 2005-2013**

De acuerdo con la tabla 6, se puede evidenciar ¿cuál fue el comportamiento o dinámica de las transiciones sistemáticas en la parte alta de la cuenca del río Sogamoso en el periodo 2005-2013? ¿cuáles coberturas vegetales ganaron y que tantas hectáreas perdieron? ¿cuánto fue el cambio total, el intercambio y el cambio neto?

**Tabla 6 Ganancias, Pérdidas y Cambio Neto - Periodo 2005-2013**

Tipo de leyenda	2005	2013	Estable	Ganancia	Pérdida	Cambio Total	Intercambio	Cambio neto
TA	1,30	1,49	1,29	0,19	0,01	0,20	0,02	0,19
CAP	2,38	2,62	2,06	0,57	0,32	0,89	0,64	0,24
LP, AR y ENM	10,41	10,76	7,45	3,32	2,96	6,28	5,93	0,35
AAH	16,00	17,07	13,22	3,85	2,78	6,63	5,56	1,06
BD-Gal	16,94	16,79	16,16	0,63	0,78	1,41	1,25	-0,15
BF	10,07	9,83	8,36	1,47	1,71	3,18	2,94	-0,24
H-ARB	27,26	26,59	25,82	0,77	1,44	2,21	1,54	-0,67
VST	10,22	8,84	7,13	1,71	3,09	4,80	3,42	-1,38
PF	0,24	0,52	0,24	0,28	0,00	0,28	0,01	0,27
AAB	0,66	0,89	0,61	0,29	0,06	0,34	0,11	0,23
SA	0,95	0,93	0,75	0,19	0,21	0,39	0,37	-0,02

Totales	96,51	96,51	83,12	13,38	13,38	13,38	10,92	2,46
---------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------

**Nota 1.** TA: Territorios Artificializados, CAP: Cultivos agroforestales y permanentes, LP, AR y ENM: Pastos Limpios, Arbolados y Enmalezados, AAH: Áreas agrícolas heterogéneas, **BD\_Gal**: Bosque denso y de galería, **BF**, Bosque fragmentado, **H-ARB**: Herbazales y arbustales, **VST**: Vegetación secundaria o en transición, PF: Plantaciones forestales, AAB: Áreas abiertas, SA: Superficies de agua y NB: Nubes.

**Nota 2.** Fuente: El autor

Como se mencionó anteriormente, el área objeto de estudio categoriza su predominancia en cuanto a las coberturas vegetales naturales. En cuanto a ¿cuáles coberturas vegetales son las más estables?, en primera instancia se observa que todas ellas demuestran cierto grado de inestabilidad, sin embargo; se observa que el bosque fragmentado (BF) evidencia una mayor inestabilidad, junto con la categoría de vegetación secundaria o en transición (VST), en comparación, por ejemplo, con la cobertura vegetal de Bosque denso y de galería (BD-Gal), quien también demuestra una inestabilidad, pero no tan significativa. Otras coberturas vegetales que evidencian cierto grado de inestabilidad, son los cultivos agroforestales y permanentes, los pastos limpios (LP), arbolados (Arb) y los enmalezados (Enm), al igual, que las áreas agrícolas heterogéneas.

Ahora bien, desde las ganancias, se encontró que las categorías de áreas agrícolas heterogéneas (AAH) y la de pastos (PL, AR y Enm), fueron las más dinámicas, las (AAH) pues obtuvieron una ganancia de 5327,82 ha, perdieron 3854,56, para un cambio total de 9182,38 ha, se intercambiaron con otras coberturas un total de 7709,12 ha y obtuvieron un cambio neto de 1473,26 ha, durante el periodo de 2005-2013. Una dinámica similar, pero en un menor grado, tuvo la categoría de pastos, quien obtuvo una ganancia de 4594,28 ha, perdió un total de 4105,34 ha, un cambio total de 8699,62 ha, intercambio un total de 8210,68 ha y obtuvo un cambio neto de 488,94 hectáreas. La tercera categoría que obtuvo un cambio neto positivo fue la de cultivos agroforestales y permanentes.

Desde el punto de vista de las pérdidas, la cobertura de vegetación secundaria o transitoria (VST), fue la que más perdió hectáreas en el periodo 2005-2013, con un total de 3,09% con respecto al total del territorio o área objeto de estudio, concretamente 4280,68 ha. La segunda cobertura vegetal que más cedió hectáreas fue la de pastos (LP, AR y ENM), con un total de 4105,34 ha. La novedad entre estas dos categorías, es que en el caso de la (VST), su cambio neto es negativo; -1912,10 ha, mientras los pastos (PL, AR y ENM), su cambio neto es positivo con un total de 488,94 hectáreas.

El mismo comportamiento refleja la categoría de (AAH), que evidencia una pérdida de 2,78% con respecto al área total de estudio, es decir, 3854,56 ha, pero su cambio neto es positivo con un total de 1473,26 ha. La cuarta categoría que refleja una dinámica significativa, es la categoría de bosque fragmentado (BF), quien demuestra una pérdida de 4407,47 ha y un cambio neto de -331,85 ha.

En síntesis, si se observa con mayor cautela la tabla 7 y 8, se demuestra la dinámica de las transiciones sistemáticas durante el periodo de 2005-2013 en la parte alta del río Sogamoso. Deduciéndose, que las coberturas vegetales que evidencian un cambio anual negativo cedieron hectáreas hacia las coberturas vegetales que reflejan un cambio neto positivo, es decir; se sacrificó (BD-Gal), (BF), (H-ARB), (VST) y (SA), un total de 3408.23 ha hacia coberturas vegetales como: (TA), (CAP), (PL, AR y ENM), (AAH), (PF) y (AAB), ratificándose lo que anteriormente se mencionó; coberturas vegetales naturales para aumentar la frontera agropecuaria, esencialmente.

#### ➤ **Periodo 2013-2019**

Ahora, en cuanto a ganancias, pérdidas y cambio neto, periodo de 2013-2019, la tabla 7 sintetiza los principales resultados.

**Tabla 7 Ganancias, Pérdidas y Cambio Neto, Periodo 2013-2019**

Tipo leyenda	2013	2019	Estable	Ganancia	Pérdida	Cambio Total	Inter cambio	Cambio neto
TA	1,49	1,55	1,42	0,13	0,07	0,21	0,14	0,06
CAP	2,63	3,88	2,61	1,28	0,03	1,30	0,05	1,25
LP, AR y ENM	11,31	10,15	8,21	1,94	3,10	5,04	3,89	-1,15
AAH	11,29	11,06	8,09	2,97	3,20	6,18	5,95	-0,23
BD-Gal	16,79	16,40	15,81	0,59	0,98	1,56	1,17	-0,39
BF	9,83	8,58	7,61	0,97	2,22	3,20	1,95	-1,25
<b>H-ARB</b>	<b>26,22</b>	<b>24,08</b>	<b>23,86</b>	<b>0,22</b>	<b>2,36</b>	<b>2,58</b>	<b>0,44</b>	<b>-2,14</b>
VST	8,91	8,09	5,92	2,17	2,99	5,16	4,35	-0,82
PF	0,45	0,97	0,45	0,52	0,00	0,52	0,01	0,52
AAB	0,89	0,94	0,69	0,25	0,20	0,45	0,40	0,05
<b>SA</b>	<b>0,33</b>	<b>4,48</b>	<b>0,28</b>	<b>4,20</b>	<b>0,04</b>	<b>4,24</b>	<b>0,09</b>	<b>4,16</b>
Totales	90,31	90,31	74,94	15,37	15,37	15,37	9,34	6,03

**Nota 1.** TA: Territorios Artificializados, CAP: Cultivos agroforestales y permanentes, LP, AR y ENM: Pastos Limpios, Arbolados y Enmalezados, AAH: Áreas agrícolas heterogéneas, BD\_Gal: Bosque denso y de galería, BF, Bosque fragmentado, **H-ARB:** Herbazales y arbustales, VST: Vegetación secundaria o en transición, PF: Plantaciones forestales, AAB: Áreas abiertas, **SA:** Superficies de agua y NB: Nubes.

**Nota 2.** Fuente: El autor

En ella se puede apreciar, que, desde el punto de vista de las ganancias, las coberturas vegetales (SA), (VST), (AAH), (LP, AR y ENM) y (CAP), son las coberturas que obtuvieron mayores tasas representativas, las cuales oscilan del 1,28 al 4,20. Siendo las (SA) la de mayor tasa de ganancia con un 4,20%, seguida de las (AAH) con un 2,97%. Un comportamiento muy similar refleja la cobertura de (VST) con una tasa del 2,17%, mientras las coberturas de cultivos agroforestales y permanente y pastos demostraron participaciones del 1,28% y del 1,94%. Nótese también, que la cobertura natural (H-ARB) alcanzo una tasa de ganancia muy baja.

Mientras que, las pérdidas más altas las justifican las coberturas vegetales de (LP, AR y ENM), (AAH), (BF) (H-ARB) y (VST) con tasas que oscilan entre 2,22 y el 3,2. Es decir; se sacrificaron coberturas vegetales que transitaron hacia la categoría (SA), que fue la cobertura que mayor cambio neto experimento con un 4,16% anual; 5756.79 ha de un total

de cambio neto observado de 8358.79 ha. Otra cobertura que experimento un cambio neto significativo del 1,25% anual fue la cobertura de (CAP), mientras, coberturas como: (TA), (PF) y (AAB) obtuvieron un cambio neto positivo que osciló entre el 0,05 y el 0,52. Por último, mediante el indicador de cambio neto, se puede observar que los (H-ARB), el (BF) y los pastos (PL, ARB y ENM) fueron las coberturas vegetales que más hectáreas cedieron o perdieron, con tasas de cambio neto que oscilan entre el -1,15 al -2,14. También se observan que otras coberturas como (AAH), el (BD-Gal) y la (VST) cedieron o perdieron hectáreas, pero con menores tasas de cambio neto que oscilaron entre el -0,23 al -0,82

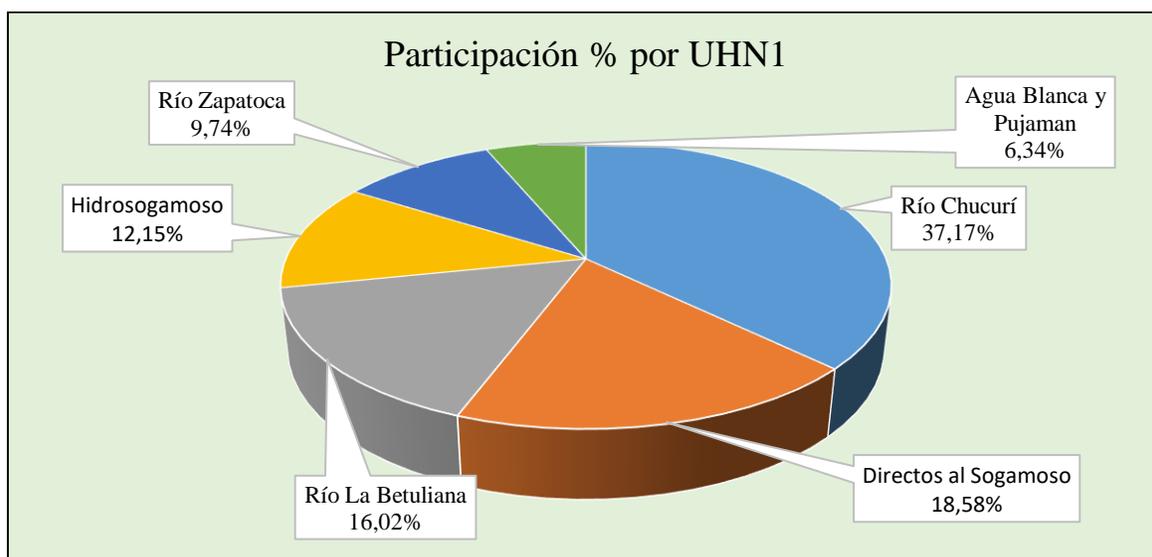
En concreto, se confirma que la dinámica o transición sistemática experimentada en el periodo de 2013-2019 en la parte alta del río Sogamoso, es muy diferente a la encontrada en el periodo 2005-2013. En el segundo periodo se sacrificaron coberturas vegetales naturales que transitaron hacia coberturas de superficies de agua (SA), principalmente. Otro dato revelador encontrado, es que se disminuyeron las hectáreas dedicadas para actividades productivas con procesos agropecuarios y se aumentaron las hectáreas para los cultivos forestales y permanentes.

#### ***4.1.3. Principales Resultados Obtenidos por UHN1***

A continuación, se sintetizan los principales resultados obtenidos en cada una de las UHN1. Principalmente desde las participaciones porcentuales (%) de cada una de ellas, como también de sus tasas de crecimiento anuales.

A nivel de UHN1, se pudo identificar ¿cuáles UHN1 son las de mayor participación en el área total objeto de estudio, qué tipo de coberturas son las predominantes al interior de cada cuenca, y cómo contribuyen?

De esta manera, la figura 6 certifica en hectáreas la participación % el rol de cada UHN1.

**Figura 6 Participación % por UHN1**

Nota. Fuente: El autor tomando como referencia el POMCA del río Sogamoso.

Siendo la UHN1 la del río Chucurí la de mayor participación y la de Aguablanca y Pujaman la de menor participación. Se encontró que algunas UHN1 como la del río Chucurí es muy significativa en la región por su aporte hídrico, como también se pudo evidenciar cuál es el grado de pendientes en las cuales se encuentran ubicadas, revelando así que tipo de coberturas son las de mayor participación y qué papel pueden jugar en la organización del territorio.

A lo anterior, se encontró que la cobertura vegetal de Bosque denso y de galería, son las de mayor significancia en la UHN1 del río Chucurí, con una participación 11,03 al 11,21 %. Pero, además se destaca en esta UHN1, que la cobertura vegetal en mención ha avanzado con tasas de cambio positivas, que oscilan entre el 0,11 al 0,17 anual entre el periodo 2005-2019, esto indica, que en esta UHN1 la deforestación es nula o no esta relaciona con este tipo de cobertura. Mientras, la cobertura vegetal de bosque fragmentado (BF) que es la segunda categoría de mayor participación, evidencia un cambio de uso expresado en -1971,26 hectáreas en el periodo 2005-2019, con tasas anuales de crecimiento que oscilan entre el que

el -0,69 y el -2,10. Otra cobertura vegetal que llama la atención por su tasa de crecimiento anual es la de las plantaciones forestales (PF), estas evidencian un cambio de 9,48 ha en el 2005 a 241,58 ha en el 2019, mientras para el periodo de 2013-2019, sobresale la cobertura de áreas abiertas con una tasa de crecimiento anual del 35,37, de igual manera, las plantaciones forestales con un 10,26, los cultivos agroforestales y permanentes con una tasa del 8,08 y las superficies de agua con una tasa de crecimiento anual del 6,96. Ver la tabla 8.

**Tabla 8 Comportamiento de la UHN1 del Río Chucurí, Según Periodo de**

**Análisis**

Tipo Cobertura	2005		2013		2019		Tasa de cambio		
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	2005-2013	2013-2019	2005-2013
(TA)	407,30	0,29	408,33	0,29	408,81	0,30	0,03	0,02	0,03
(CAP)	3177,25	2,29	3365,34	2,43	4996,46	3,61	0,74	8,08	4,09
(LP, AR y ENM)	6744,26	4,87	7002,65	5,05	6759,83	4,88	0,48	-0,58	0,02
(AAH)	7135,08	5,15	7885,56	5,69	8048,47	5,81	1,31	0,34	0,91
(BD-Gal)	15283,56	11,03	15486,3	11,18	15529,1	11,21	0,17	0,05	0,11
			10691,8						
(BF)	11314,69	8,17	2	7,72	9343,43	6,74	-0,69	-2,10	-1,24
(H-ARB)	3334,85	2,41	3646,78	2,63	3435,71	2,48	1,17	-0,96	0,22
(VST)	3580,50	2,58	2469,93	1,78	2069,74	1,49	-3,88	-2,70	-3,01
(PF)	9,48	0,01	149,54	0,11	241,58	0,17	184,69	10,26	174,90
(AAB)	43,35	0,03	20,21	0,01	63,10	0,05	-6,67	35,37	3,25
(SA)	361,13	0,26	297,01	0,21	421,12	0,30	-2,22	6,96	1,19
(NB)	97,91	0,07	65,87	0,05	171,90	0,12	-4,09	26,83	5,40
Área total	51489,3	37,1	51489,3	37,1	51489,3	37,1			

Nota 1. TA: Territorios artificializados, CAP: Cultivos agroforestales permanentes, LP, AR y ENM: Pastos limpios, arborizados y Enmalezados, AAH: Áreas agrícolas heterogéneas, BD\_Gal: Bosque denso y de galería, BF, Bosque fragmentado, H-ARB: Herbazales y arbustales, VST: Vegetación secundaria o en transición, PF: Plantaciones forestales, AAB: Áreas abiertas, SA: Superficies de agua y NB: Nubes.

Nota 2. Fuente: El autor.

Como se evidenció en la figura 6, la UHN1 Directos al Sogamoso es la segunda Unidad con mayor participación con 25.742,51 Ha, para una participación del 18,58%. Al igual que la UHN1 del río Chucurí, donde la mayor participación la posee la cobertura natural de bosque denso y de galería (BD-Gal), en la UHN1 Directos al río Sogamoso son los

Herbazales y arbustales (H-ARB) los que mayor participación poseen con el 8,77 al 8,41% entre el periodo 2005-2019, pero con la diferencia que sus tasas anuales de crecimiento son negativas, las cuales oscilaron entre el -0,43 y el -0,29, es decir; se sacrificaron -498,23 Ha en el periodo 2005-2019. La segunda cobertura vegetal de mayor participación en esta UHN1 son las áreas agrícolas heterogéneas, las cuales participan con 7.679,29 ha en el 2005 y 8.187,46 ha en el 2019; en tanto el bosque fragmentado (BF), no evidencio cambios significativos, se mantuvo con un total de 31,20 ha. Aún más, las plantaciones forestales (PF) mostraron tasas de crecimiento positivas que variaron entre el 0,10 y el 1,30, pasaron de 292,86 ha en el 2005 a un total de 318,27 en el año de 2019, ver la tabla 9.

**Tabla 9 Comportamiento de la UHN1 Directos al Sogamoso, Según Periodo de**

#### Análisis

Tipo de cobertura	2005	%	2013	%	2019	%	Tasa Cambio		
							2005 2013	2005 2013	2005 2019
(TA)	845,58	0,61	954,85	0,69	1026,84	0,74	1,62	1,26	1,53
(CAP)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(LP, AR y ENM)	1619,88	1,17	1472,48	1,06	1475,29	1,06	-1,14	0,03	-0,64
(AAH)	7679,29	5,54	8162,43	5,89	8187,46	5,91	0,79	0,05	0,47
(PF)	292,86	0,21	295,22	0,21	318,27	0,23	0,10	1,30	0,62
(AAB)	202,94	0,15	209,52	0,15	224,63	0,16	0,41	1,20	0,76
(BD-Gal)	2138,56	1,54	2123,01	1,53	2051,31	1,48	-0,09	-0,56	-0,29
(BF)	31,20	0,02	31,20	0,02	31,20	0,02	0,00	0,00	0,00
(H-ARB)	12149,3	8,7	11735,4	8,4	11651,1	8,4	-0,43	-0,12	-0,29
(VST)	622,82	0,45	608,95	0,44	602,51	0,43	-0,28	-0,18	-0,23
(SA)	160,04	0,12	149,43	0,11	173,90	0,13	-0,83	2,73	0,62
(NB)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Totales	25742,5	18,5	25742,5	18,5	25742,5	18,5			

**Nota 1.** TA: Territorios Artificializados, CAP: Cultivos agroforestales y permanentes, LP, AR y ENM: Pastos Limpios, Arbolados y Enmalezados, AAH: Áreas agrícolas heterogéneas, PF: Plantaciones forestales, AAB: Áreas abiertas, BD\_Gal: Bosque denso y de galería, BF, Bosque fragmentado, H-ARB: Herbazales y arbustales, VST: Vegetación secundaria o en transición, SA: Superficies de agua y NB: Nubes.

**Nota 2.** Fuente: El autor

Para el periodo de 2013-2019, la UHN1 Directos al río Sogamoso evidencia tasas de crecimiento positivas que oscilaron entre el 1,30 al 2,73 con respecto al periodo 2015-2013 y sobresale la cobertura de superficies de agua (SA) con una tasa del 2,73, las plantaciones forestales (PF) con un 1,30 y las áreas abiertas con un 1,20. Al igual que las otras coberturas vegetales naturales, la vegetación secundaria o en transición (VST) evidenció **tasas de crecimiento negativas que oscilan entre el -0,28 y el 0,23, para un total de -20,31 ha entre el 2005-2019.**

La UHN1 la Betuliana posee un área de 22.198,61 ha, para una participación del 16,02 % con respecto al área total. Se demuestra que la cobertura de herbazales y arbustales (H-Arb) es la de mayor participación % con una extensión de 13.584,18 ha para el año 2019. Al igual que las anteriores UHN1 muestran un cambio negativo entre el 2005 al 2019 de -1.535,56 hectáreas, con tasas de crecimiento anuales que oscilaron entre el -0,34 al -1,27. Se resalta, que al igual que la UHN1 del río Chucurí, la UHN1 la Betuliana está cubierta en gran parte por coberturas de tipo natural, 12,27 % en el 2005 y 10,17% en el 2019, si se agrupa las categorías de H-Arb y la categoría de BD-Gal, con respecto al total de la cuenca que es del 16,02%. Como se evidencia en el registro de la tabla 10.

**Tabla 10 Comportamiento de la UHN1 la Betuliana, Según Periodo de Análisis**

Tipo de cobertura o leyenda.							Tasa Cambio		
	2005	%	2013	%	2019	%	2005 2013	2013 2019	2005 2019
(TA)	126,83	0,09	139,29	0,10	154,49	0,11	1,23	1,82	1,56
(CAP)	111,28	0,08	111,28	0,08	200,24	0,14	0,00	<b>13,32</b>	5,71
(LP, AR y ENM)	853,88	0,62	1055,26	0,76	1175,67	0,85	2,95	1,90	2,69
(AAH)	2082,34	1,50	2129,11	1,54	2251,44	1,63	0,28	0,96	0,58
<b>(PF)</b>	0,47	0,00	<b>63,98</b>	0,05	<b>214,68</b>	0,15	1683,27	39,25	3244,17
(AAB)	169,32	0,12	365,65	0,26	324,37	0,23	14,49	-1,88	6,54
(BD-Gal)	1886,63	1,36	1910,36	1,38	1829,50	1,32	0,16	-0,71	-0,22
(BF)	459,17	0,33	513,70	0,37	501,72	0,36	1,48	-0,39	0,66
(H-ARB)	15119,7		14704,3						
	5	10,91	2	10,61	13584,1	9,81	-0,34	-1,27	-0,73



(TA)	64,60	0,05	131,57	0,09	121,20	0,09	12,96	-1,31	6,26
<b>(CAP)</b>	6,40	0,00	<b>156,31</b>	0,11	181,13	0,13	<b>292,91</b>	<b>2,65</b>	195,09
(LP, AR y ENM)	4335,66	3,13	4388,79	3,17	3074,33	2,22	0,15	-4,99	-2,08
(AAH)	2608,03	1,88	2715,54	1,96	1048,84	0,76	0,52	-10,23	-4,27
(PF)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(AAB)	57,79	0,04	184,89	0,13	154,39	0,11	27,49	-2,75	11,94
(BD-Gal)	2702,95	1,95	2358,44	1,70	1887,68	1,36	-1,59	-3,33	-2,15
(BF)	1864,50	1,35	1944,64	1,40	1459,62	1,05	0,54	-4,16	-1,55
(H-ARB)	380,26	0,27	349,47	0,25	133,86	0,10	-1,01	-10,28	-4,63
(VST)	4284,58	3,09	4066,86	2,94	3308,04	2,39	-0,64	-3,11	-1,63
<b>(SA)</b>	525,57	0,38	533,84	0,39	<b>5461,25</b>	3,94	0,20	<b>153,83</b>	<b>67,08</b>
(NB)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Área total de la cuenca	16830,35	12,15	16830,35	12,15	16830,34	12,15			

**Nota 1.** TA: Territorios Artificializados, **CAP:** Cultivos agroforestales y permanentes, LP, AR y ENM: Pastos Limpios, Arbolados y Enmalezados, AAH: Áreas agrícolas heterogéneas, PF: Plantaciones forestales, AAB: Áreas abiertas, BD\_Gal: Bosque denso y de galería, BF, Bosque fragmentado, H-ARB: Herbazales y arbustales, VST: Vegetación secundaria o en transición, **SA:** Superficies de agua y NB: Nubes.

**Nota 2.** Fuente: El autor

Según lo anterior, la categoría de superficies de agua (SA), demuestra una tasa de crecimiento positiva anual muy significativa del 153,83 para el periodo 2013-2019, e incluso; la cobertura de cultivos agroforestales y permanentes que en el periodo 2005-2013 habían evidenciado una tasa de crecimiento anual del 292,91, descendió al 2,65 para el periodo de 2013-2019. Otro de los aportes encontrados en esta UHN1, es que espacialmente entre los años 2005 al 2013, no hay una cobertura vegetal predominante en la cuenca como en las anteriores UHN1 analizadas, nótese que sus participaciones % oscilan entre el 0,05 y el 3,39. Obsérvese también, el cambio tan significativo de las superficies de agua en el 2019, 5.461,25 ha y un 3,94% de participación con respecto a los años anteriores. **Esta dinámica se explica y se justifica por el mejor aprovechamiento del caudal hídrico para la generación de energía eléctrica, fundamentalmente. Mientras la dinámica de la cobertura (CAP) obedece al impacto de políticas agrícolas o tendencias de producción del sector primario.**

Con respecto a la UHN1 Aguablanca y Pujaman, la tabla 12, esta manifiesta una participación significativa en la cobertura de vegetación secundaria o en transición del 2,65% con respecto al 6,34% que es la participación total de la cuenca con respecto al área total objeto de estudio.

**Tabla 12 Comportamiento de la UHN1 Aguablanca y Pujaman, Según Periodo**

**de Análisis**

Tipo de cobertura o leyenda.							Tasas Cambio		
	2005	%	2013	%	2019	%	2005 2013	2013 2018	2005 2013
(TA)	106,79	0,08	117,87	0,09	128,81	0,09	1,30	1,55	1,47
(CAP)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(LP, AR y ENM)	1909,59	1,38	1772,84	1,28	1617,62	1,17	-0,90	-1,46	-1,09
(AAH)	2357,90	1,70	2347,26	1,69	2427,54	1,75	-0,06	0,57	0,21
(PF)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(AAB)	19,50	0,01	23,85	0,02	28,11	0,02	2,78	2,98	3,15
(BD-Gal)	678,14	0,49	652,20	0,47	598,76	0,43	-0,48	-1,37	-0,84
(BF)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(H-ARB)	4,26	0,00	2,79	0,00	0,00	0,00	-4,33	-16,67	-7,14
(VST)	3666,22	2,65	3638,82	2,63	3923,34	2,83	-0,09	1,30	0,50
(SA)	36,86	0,03	38,18	0,03	55,09	0,04	0,45	7,38	3,53
(NB)	0,00	0,00	185,46	0,13	0,00	0,00	0,00	-16,67	0,00
Área total de la cuenca	8779,2	6,3	8779,2	6,3	8779,2	6,3			

**Nota 1.** TA: Territorios Artificializados, CAP: Cultivos agroforestales y permanentes, LP, AR y ENM: Pastos Limpios, Arbolados y Enmalezados, AAH: Áreas agrícolas heterogéneas, PF: Plantaciones forestales, AAB: Áreas abiertas, BD\_Gal: Bosque denso y de galería, BF, Bosque fragmentado, H-ARB: Herbazales y arbustales, **VST:** Vegetación secundaria o en transición, SA: Superficies de agua y NB: Nubes.

**Nota 2.** Fuente: El autor

Sin embargo, espacialmente se puede comprender y visualizar que las coberturas de pastos (PL, AR y ENM) y la cobertura de áreas agrícolas heterogéneas ocupan aproximadamente el 50% de la UHN1 si se suman sus participaciones % en cada año, 3,08 para el año 2005; 2,97 para el año 2013 y 2,92 para el año 2019. Al igual que los cambios evidenciados en las anteriores UHN1, las coberturas artificializadas y naturales evidencian cambios positivos como negativos, especialmente las coberturas naturales, para el periodo de

2013-2019. Así, por ejemplo, en la UHN1 Aguablanca y Pujaman, el cambio más significativo lo evidencia la cobertura de Herbazales y arbustales (H-Arb), con tasas anuales de crecimiento negativo que varían entre el -4,33 y el -16,67, respectivamente. Igualmente, la cobertura de superficies de agua experimentó un cambio significativo en el periodo 2013-2019 del 7,38 anual. Mientras los pastos (LP, ARB y ENM) evidenciaron tasas anuales de crecimiento negativo que oscila entre el -0,90 y el -1,46. Otro aspecto relevante encontrado en esta cuenca hidrográfica, es que no se encontraron cultivos agroforestales y permanentes (CAP), plantaciones forestales (PF) ni bosque fragmentado (BF).

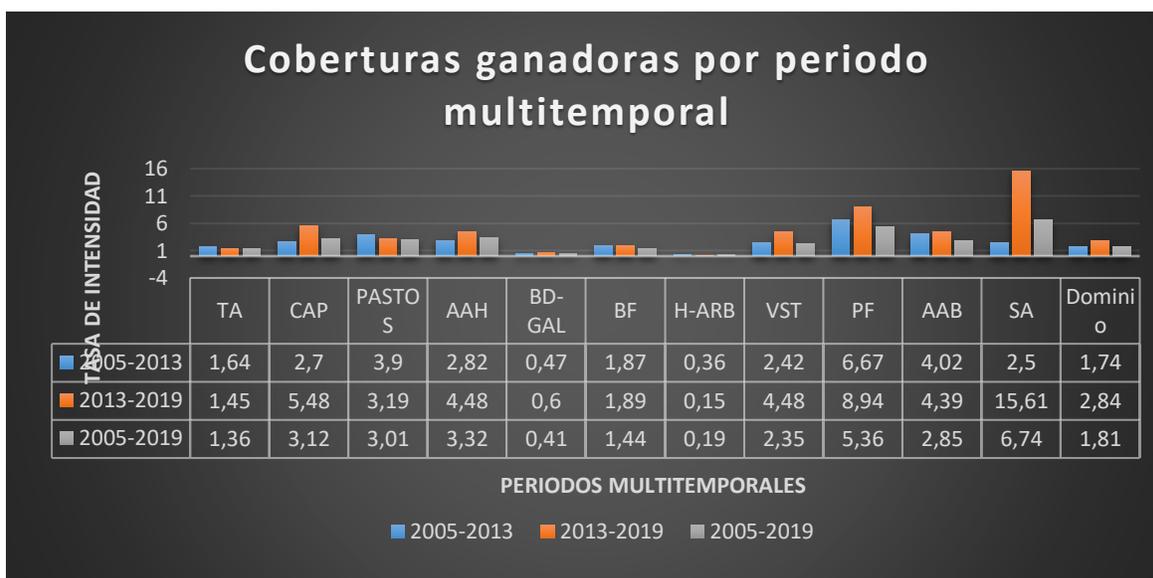
Finalmente, se puede deducir que esta UHN1 se caracteriza por actividades agropecuarias en el periodo de 2005-2013 y desde el año 2013, la actividad paso a ser mixta; agropecuaria e industrial

#### ***4.1.4 Análisis de la Intensidad de Cambio de las Coberturas Vegetales - Según Periodo de Tiempo***

En suma, con lo expuesto anteriormente, se profundizó en analizar la intensidad del cambio de las transiciones sistematicas dominantes, para lo cual se plantearon las siguientes preguntas: 1) ¿Cuáles son las categoria de coberturas ganadoras? 2) ¿ cuáles coberturas vegetales son más activas y cuales son las más lentas? 3) ¿cuál es su tasa de intensidad y hacia donde transitan? 4) **¿qué periodo de tiempo presentó un mayor cambio anual y cual es el intervalo de dominio por periodo de tiempo**, de acuerdo a la metodología propuesta por Aldwaik y Pontius (2012).

De acuerdo a la figura 7, **anexo 9** y a los resultados obtenidos en cada uno de los periodos multitemporales objeto de estudio y con respecto a ¿Cuáles son las coberturas ganadoras?, se encontró que:

**Figura 7 Coberturas ganadoras por periodo de tiempo**



Fuente: El autor

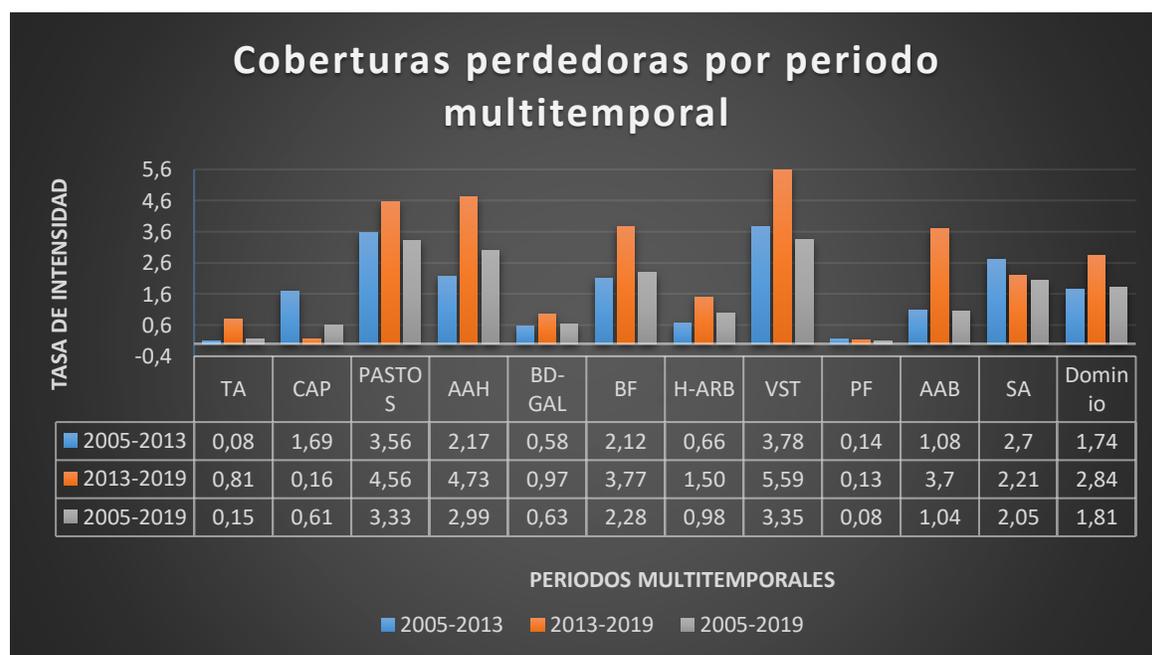
Las categorías ganadoras o de mayor intensidad, están por encima del rango de dominio, las cuales son: (CAP), (PL, ARB y ENM), (AAH), (VST), (PF), (AAB), (SA) y el (BF) solo para el primer periodo, mientras las de menor intensidad y con un rango de dominio menor son: (TA), (BD-Gal), (H-ARB). Ahora, si se toma el periodo 2005-2013, la intensidad evidencia un rango de dominio del 1,74, el cual aumenta a 2,84 para el periodo 2013-2019 y del 1,81 para el periodo 2005-2019.

Ahora, como el periodo 2005-2013 es el que presenta una mayor tasa de intensidad de ganancia con un intervalo del 2,84%, se resalta que la cobertura vegetal más activa es la de plantaciones forestales (PF), con una tasa de intensidad del 6,67% anual, seguida de las áreas abiertas (AAB) con un 4,02% anual de intensidad. Mientras las coberturas vegetales de pastos (LP, AR y Enm) se ubican como la tercera categoría activa con un 3,90% de intensidad anual. Como cuarta cobertura vegetal activas, se ubican los cultivos agroforestales y permanentes y las áreas agrícolas heterogéneas. Otra transición que llama la atención en el intervalo 2013-2019, es que las coberturas vegetales de bosque fragmentado (BF), que en el

periodo 2005-2013 venían como activas, pasaron a ser lentas para el periodo 2013-2019 y periodo 2005-2019.

Continuando, con respecto a ¿Cuáles son las coberturas perdedoras?, según los periodos multitemporales objeto de estudio, se encontró que las categorías perdedoras o las de menor intensidad y que tienen un rango por debajo del de dominio, son: (TA), (CAP), (BD-Gal), (H-ARB), (PF) y las (AAB) solo para el primer periodo, mientras las de mayor intensidad y con un rango de dominio mayor al de intensidad son: (PL, ARB y ENM), (AAH), (BF), (VST) y las (SA). A su vez, si se toma el periodo 2005-2013, la intensidad evidencia un rango de dominio del 1,74, el cual aumenta a 2,84 para el periodo 2013-2019 y del 1,81 para el periodo 2005-2019. Ver la figura 8 y el **Anexo 10**.

**Figura 8 Coberturas perdedoras, según periodos multitemporales**



Fuente: El autor

Igualmente, para el intervalo de 2005-2013, las coberturas vegetales más activas desde el punto de vista de categorías perdedoras, son las de vegetación secundaria o en

transición con una intensidad anual del 3.78%, seguida de la categoría de pastos con una tasa de intensidad anual del 3.56. Igualmente, las categorías más lentas son la de territorios artificializados (TA) con una tasa de intensidad del 0.08% y las plantaciones forestales (PF) con una tasa del 0.14%.

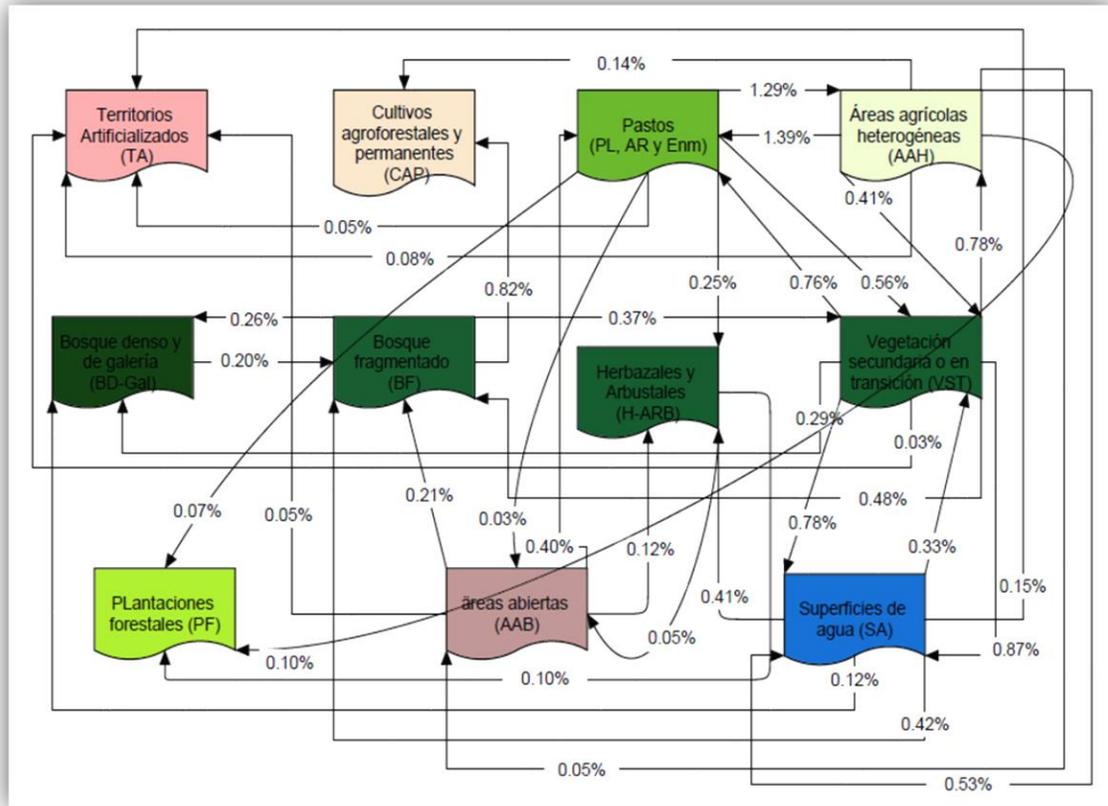
A su vez, nótese que para el periodo 2013-2019, las coberturas de vegetación secundaria o en transición (VST), junto con la categoría de pastos continúan siendo las más activas, pero una mayor tasa de intensidad anual, que oscila entre el 4.56 al 5.59 % anual. A su vez llama la atención, que en el intervalo de 2005-2013, las superficies de agua (SA) era una cobertura de las más activas, pero para el periodo 2013-2019, pasó a ser una cobertura lenta con una tasa de intensidad anual del 2.21%. *Lo contrario* sucede para la cobertura vegetal de áreas abiertas (AAB), para el periodo 2013-2019, pasó a ser una cobertura vegetal más activa con una tasa de intensidad anual del 3.70, muy significativa, si se compara con la del periodo anterior.

Por último, se revisaron ¿cuáles son las coberturas vegetales que transitan hacia otras “preferidas”? y ¿cuál es su tasa de intensidad anual?, según el periodo 2005-2019, con la finalidad de obtener una mejor comprensión de las dinámicas sistemáticas encontradas en la parte alta de la cuenca del río Sogamoso o área objeto de estudio. Ver la figura 9.

Si se observa con un mayor detenimiento dicha figura, se pueden reproducir dinámicas tan interesantes para el intervalo de 2005-2019, como por ejemplo:

- Los pastos (PL, AR y Enm) frente a las áreas agrícolas heterogéneas (AAH); donde ellas transitan a pastos con una intensidad anual del 1.39%, pero a su vez; los pastos transitan a las áreas agrícolas heterogéneas con una tasa de intensidad menor anual del 1.29.

**Figura 9 Transiciones Sistemáticas de las Coberturas Vegetales**



**Nota.** Fuente: El autor

- El bosque fragmentado como es preferido por las coberturas: de cultivos agroforestales y permantes con una tasa de intensidad del 0.82% anual, por vegetación secundaria o en transición con una tasa de intensidad anual del 0.37% y por el bosque denso y de galería.
- El bosque fragmentado como es preferido por las coberturas: de cultivos agroforestales y permantes con una tasa de intensidad del 0.82% anual, por vegetación secundaria o en transición con una tasa de intensidad anual del 0.37% y por el bosque denso y de galería.
- Plantaciones forestales: las cuales son preferidas frente a los pastos con una tasa de intensidad anual del 0.07%, áreas agrícolas heterogéneas con una tasa de intensidad

- del 0.10% anual y los herbazales y arbustales (H-Arb) con una tasa anual de intensidad del 0.10%.
- Cultivos agroforestales: los cuales son preferidos frente al bosque fragmentado (BF), 0.82% y las áreas agrícolas heterogéneas con una tasa de intensidad del 0.14% anual
  - Otra dinámica sistemática interesante, es la reflejada por las áreas agrícolas heterogéneas (AAH) y la de vegetación secundaria o en transición frente a la cobertura vegetal de superficies de agua (SA), pero a su vez, como las (SA) son preferidas por coberturas como: bosque denso y de galería (BD-Gal), bosque fragmentado (BF), herbazales y arbustales (H-Arb) y territorios artificializados (TA).
  - La dinámica de (SA), es la más activa por los altos valores % que recibe, por ejemplo; de la categoría de (PL, AR y ENM), de las (AAH), (H-ARB) y especialmente de (VST). También es muy interesante ver la transición sistemática de (SA) a (PF) con 0,10%, (BD-Gal) con 0,12 y a (H-ARB); estas dinámicas evidencian procesos de recuperación ambiental, mientras la dinámica de (SA) a (TA) evidencia procesos de antrópicos no deseables, los cuales por su participación del 0,15% vendrían la pena evaluar y como repercuten para el alcance de la sostenibilidad territorial.

#### ***4.1.5 Análisis de la Estabilidad del Cambio***

Para analizar la estabilidad y/o probabilidad de cambio de las coberturas vegetales identificadas, **se calculó el índice de ganancia a persistencia (Gp) y el índice de pérdida a persistencia (Lp)**, para cada uno de los periodos o intervalos de tiempo analizados, los cuales se pueden observar en la tabla 13.

**Tabla 13 Indicadores GP y LP, Periodo 2005-2019**

Periodo de tiempo o intervalo Tipo de cobertura	2005-2013		2013-2019		2005-2019	
	Indicador					
	Gp	Lp	Gp	Lp	Gp	Lp
(TA)	0,15	0,01	0,10	0,05	0,24	0,02
(CAP)	0,28	0,16	0,49	0,01	0,77	0,09
(LP, AR y ENM)	0,45	0,40	0,24	0,38	0,73	0,87
(AAH)	0,29	0,21	0,37	0,40	0,87	0,72
(BD-Gal)	0,04	0,05	0,04	0,06	0,06	0,10
(BF)	0,18	0,20	0,13	0,29	0,25	0,47
(H-ARB)	0,03	0,06	0,01	0,10	0,03	0,16
(VST)	0,24	0,43	0,37	0,51	0,49	0,88
(PF)	1,14	0,01	1,16	0,01	3,00	0,01
(AAB)	0,47	0,09	0,36	0,29	0,66	0,17
(SA)	0,25	0,28	14,82	0,15	16,94	0,40
(NB)	2,82	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00
Persistencia de la cuenca	0,83		0,75		0,67	

**Nota 1.** TA: Territorios Artificiaizados, CAP: Cultivos agroforestales y permanentes, LP, AR y ENM: Pastos Limpios, Arbolados y Enmalezados, AAH: Áreas agrícolas heterogéneas, PF: Plantaciones forestales, AAB: Áreas abiertas, BD\_Gal: Bosque denso y de galería, BF, Bosque fragmentado, H-ARB: Herbazales y arbustales, VST: Vegetación secundaria o en transición, SA: Superficies de agua y NB: Nubes.

**Nota 2.** Fuente: El autor

Según Pérez at el. (2012, pág. 32) el índice de ganancia a persistencia se puede calcular como  $Gp = Gij/Pjj$ , donde;  $Gij$  = Es a superficie ganada de la categoría i en el año 2. Por consiguiente,  $Pij$  = Es la persistencia de la categoría i entre las fechas consideradas, y;  $Lp = Lij/Pjj$ , donde;  $Lij$  = Es a superficie pérdida de la categoría i en el año 1. Mientras  $Pij$  = Es la persistencia de la categoría i entre las fechas consideradas.

Lo anterior indica:

- 1) A pesar de que la persistencia (áreas que se mantuvieron constantes o que no cambiaron, según e periodo de tiempo analizado) es alta, ella viene acotándose significativamente en cada periodo de tiempo analizado. Nótese cómo cambia del 0,83 al 0,75 y finalmente al 0,67.

- 2) Los índices de **persistencia positiva más altos** en el periodo 2005-2013 son: las plantaciones forestales-Pf (1,14), las áreas abiertas-AAB (0,47) y los pastos-Lp,Ar y Enm (0,45), esencialmente.
- 3) Mientras los índices de **persistencia negativos más altos** corresponden a las categorías de vegetación secundaria o en transición (VST), pastos (LP, AR y ENM), superficies de agua (SA) y las áreas agrícolas heterogéneas (AAH).
- 4) Para el mismo periodo de tiempo, las categorías de pastos-Lp,Ar, las áreas agrícolas heterogéneas (AAH), las superficies de agua (SA) y la vegetación secundaria o en transición (VST), son las categorías que indican un mayor intercambio para el periodo 2005-2013.
- 5) Ahora bien, **para el periodo de 2013-2019**, el índice de ganancia a persistencia (Gp) y el índice de pérdida a persistencia (Lp), reflejan una dinámica muy diferente al primer periodo. Obsérvese con mayor detenimiento, que, para el segundo periodo de análisis, la persistencia positiva más alta pasa a las coberturas de superficies de agua-SA (14,82), plantaciones forestales-PF (1,16) y a los cultivos agroforestales y permanentes-CAP (0,49), seguidas de las áreas agrícolas heterogéneas-AAH y de la cobertura de vegetación secundaria o en transición-VST.
- 6) Finalmente, los valores obtenidos de Gp y Lp para el periodo 2013-2019, permiten verificar, que las coberturas vegetales de áreas agrícolas heterogéneas (AAH), Vegetación secundaria o en transición (VST) y Áreas abiertas (AAB), son las categorías que indican un mayor intercambio para el periodo 2003-2019.
- 7) Reflexiones muy similares a las encontradas en el periodo de análisis 2013-2019, son las reflejadas para el periodo 2005-2019, a excepción de los pastos (LP, AR y ENM), cuales reflejan un mayor intercambio.

Hasta aquí, una vez presentados los resultados encontrados relacionados con el objetivo específico 1, y teniendo en cuenta los argumentos compilados en líneas anteriores; se da por cumplido el objetivo específico 1, **ya que se logró identificar el cambio en la cobertura de la tierra en las unidades hidrográficas de nivel 1 del alto río Sogamoso, la magnitud del mismo y las coberturas impactadas (ganadoras y perdedoras), a su vez; se acepta el supuesto planteado para dicho objetivo específico: que es la actividad socioeconómica agropecuaria del periodo 2005-2019 han influido significativamente en el cambio de cobertura en las unidades hidrográficas de nivel 1 en el alto río Sogamoso, esto se demuestra, al revisar el comportamiento positivo y significativo de las transiciones sistemáticas; CAP: cultivos agroforestales permanentes, LP, ARB, ENM: pastos limpios, arborizados y enmalezados, AAH: áreas agrícolas heterogéneas y PF: plantaciones forestales, en las tablas 5 al 12 y figuras 5 a la 9, principalmente.**

#### **4.2. Objetivo específico 2: Determinar la Contribución de la Delimitación por UHN1 del Alto Río Sogamoso**

En el presente ítem se exteriorizan los principales resultados obtenidos, los cuales dan cumplimiento al objetivo específico N2: *Determinar la Contribución de la delimitación por unidades hidrográficas de nivel 1 del alto río Sogamoso*. Estos resultados provienen de la fase de indagación/consulta de datos, del subproceso de cálculo de métricas del paisaje y de la fase de tratamiento e integración de datos mediante la triangulación o mezcla de metodologías y técnicas.

##### ***4.2.1 Análisis de la Fragmentación***

Los resultados obtenidos del cálculo de las métricas del paisaje seleccionadas: Área total (CA/TA), Número de parches (NP), Índice del parche más grande LPI, Área núcleo efectiva de cada una de las unidades TCA, Conectividad entre fragmentos - Distancia

Euclidiana al vecino más cercano ENN\_MN, Continuidad longitudinal Cohesión o Índice de cohesión entre parches, Continuidad altitudinal – Rango y el Rango de continuidad altitudinal, se reagruparon para analizar el estado del ecosistema o área objeto de estudio. Se encontró un valor de 2.3 el cual afirma, que el estado del ecosistema objeto de estudio no es el ideal, por obtenerse un valor por debajo del mínimo requerido de 3.0, ver la tabla 14 (Zambrano et al, 2007, p. 17-19; Análisis de integridad con herramientas SIG – Fragstats, Videos: 1 al 5, 2020 - 11 de agosto, <https://www.youtube.com/watch?v=cgqitSTAkTU>)

**Tabla 14 Evaluación Integral del Ecosistema, Según las Métricas de Paisaje Obtenidas Año 2013 y 2019**

Categoría	Indicador	Periodo		Estado	Línea de referencia			Valor final
		Año 2013	Año 2019	Estado	ND	DS	Valor	
<b>Composición</b>	Área unidades naturales (ha)	60717,3	57210,7	-5,8	ND		1	<b>2,3</b>
	Número de unidades espaciales naturales	15	16	6,7		DS	5	
<b>Composición y estructura</b>	Área unidades transformadas (ha)	77817,9	81324,5	4,5	ND		1	
	Proporción unidades naturales (%)	43,83	41,30	-5,8	ND		1	
	Proporción unidades transformadas (%)	56,17	58,7	4,5	ND		1	
	Número de parches (NP)	81,71	78,42	-4,0	ND		1	
	Índice del parche más grande (LPI)	1,39	1,39	0,0		DS	5	
	Área núcleo efectiva (TCA)	2206,4	2148,8	-2,6	ND		1	
	Áreas Transformadas (AT)	33	35	6,1	ND		1	
<b>Función</b>	Conectividad entre fragmento (ENN_MN)	386,07	598,05	54,9		DS	5	
	Conectividad Longitudinal (Cohesión)	993,12	992,5	-0,1		DS	5	
	Conectividad altitudinal (Rango)	2317,7	2165,8	-6,6	ND		1	

**Nota 1.** DN: No Deseable, DS: Deseable.

**Nota 2.** Fuente: El autor.

De acuerdo con la tabla 14, la heterogeneidad está integrada por el área total que ocupa cada unidad espacial (natural y transformada), la cual indica la diversidad de coberturas que integran el ecosistema para la cuenca del alto río Sogamoso. En fin, la heterogeneidad para la cuenca en mención se considera un poco irregular, ya que las unidades espaciales encontradas son 51; 35 transformadas contra 16 naturales para el año 2019. Las unidades transformadas predominantes en cuanto al número de hectáreas son: a) los pastos limpios con 5027,4 ha, los pastos arbolados con un total de 6925,2 ha, el mosaico de pastos y cultivos con 12576,09 ha, el mosaico de pastos con espacios naturales con un total de 5758,05 ha, la vegetación secundaria alta con 6508,86 ha y el embalse con un total de 5815,23 ha.

Mientras las unidades espaciales naturales de mayor predominancia son: el bosque denso de tierra firme con 16132,10 ha, el herbazal denso de tierra firme con 6401,87 ha, el arbustal denso con 7705,76 ha y el arbustal abierto esclerófilo con 4094, 86 ha. La heterogeneidad baja está representada por las unidades espaciales (transformadas y naturales) con más disminución de área total en hectáreas.

Desde el punto de vista del atributo ecológico de la heterogeneidad, se puede justificar que no cumple, ya que los valores más altos corresponden a unidades espaciales transformadas; 12576 ha para el mosaico de pastos y cultivos, 8159,74 ha para bosque fragmentado con pastos y cultivos, y 5815,23 ha para el embalse.

Ahora, desde la configuración espacial, este atributo ecológico está conformado por: a) la proporción del área total, b) el número de parches (NP), c) el área núcleo efectiva (TCA) y d) las áreas transformadas (AT) y “busca la estimación de un arreglo de atributos que estructuran el paisaje según sus condiciones físicas” Al igual que el atributo ecológico de heterogeneidad, se puede observar que el atributo de configuración espacial muestra cierta

irregularidad, ya que no hay una unidad espacial dominante que posea los valores más altos, así, por ejemplo, en cuanto al número de parches, índice de parche más grande y área núcleo efectiva: son la red vial y territorios asociados, los pastos limpios, arbolados, el mosaico de pastos y cultivos y el mosaico de pastos con espacios naturales son los que poseen una configuración espacial alta, mientras en las unidades espaciales naturales predomina, el bosque de galería y ripario, el arbustal abierto, arbustal denso y el herbazal denso de tierra firme son los que poseen una configuración espacial alta.

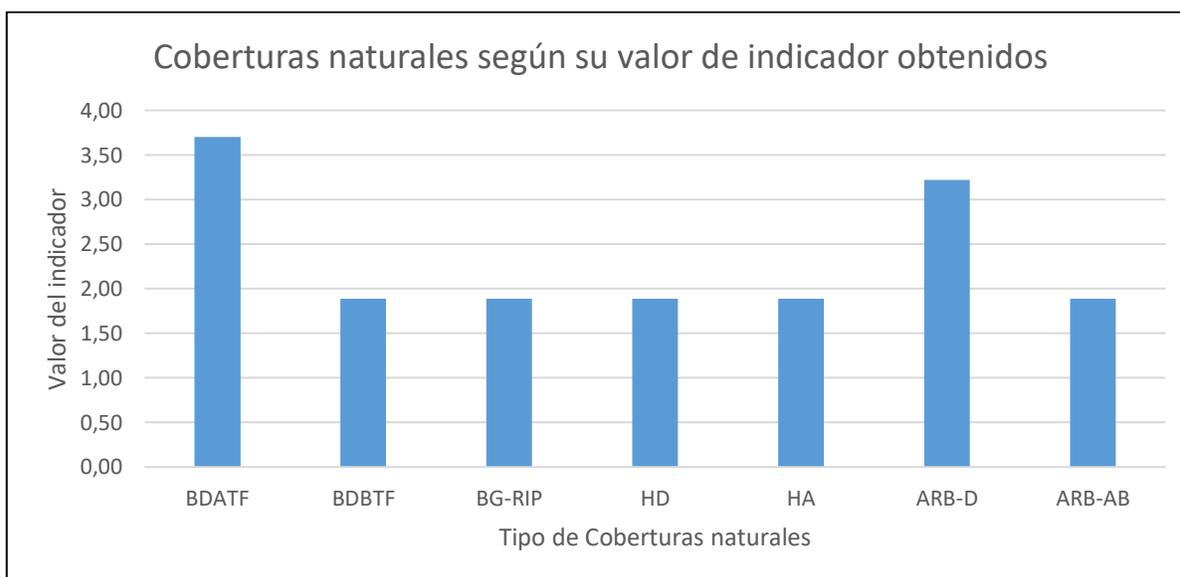
El tercer atributo ecológico por chequear es el relacionado con la continuidad, donde se tuvo en cuenta la conectividad entre fragmentos (ENN\_MN), la continuidad longitudinal (cohesión) y el rango o continuidad altitudinal. Los dos primeros indicadores se obtuvieron mediante el software Fragstats 4.2, mientras el tercer indicador se obtuvo con el software Arcgis 10.5 y el modelo de elevación de 10 metros. Al igual que los anteriores atributos ecológicos verificados, el de continuidad evidencia también cierta irregularidad, aunque la continuidad longitudinal (cohesión) es positiva.

Ante las irregularidades encontradas anteriormente, se profundizó evaluando las unidades espaciales naturales con el objeto de verificar su estado, esencialmente, comprobando si cumplen o no cumplen de acuerdo con el indicador de estado construido, los valores obtenidos se pueden apreciar en la figura 10.

Teniendo en cuenta los valores encontrados en el **anexo 11** y sintetizados en la figura 10, se puede observar que solo tipos de coberturas naturales poseen un indicador deseable (valores superiores a 3), es decir; “la integridad ecológica [del Bosque denso alto de tierra firme y de los arbustal denso] se **encuentra en un estado deseable**, pero se requieren mejorar los esquemas de manejo para evitar que algunos valores objeto de conservación se mantengan en alto riesgo”, mientras las coberturas vegetales naturales de bosque denso bajo de tierra

firme, bosque de galería y/o ripario, los herbazales denso y abiertos y los arbustales abiertos, poseen un indicador de **no deseable** (valores menores a 3), es decir; requieren intervención humana para su mejoramiento (Zambrano et al, 2007, p. 17-19; Análisis de integridad con herramientas SIG – Fragstats, Videos: 1 al 5, 2020 - 11 de agosto, <https://www.youtube.com/watch?v=cgqitSTAKTU>)

**Figura 10 Indicador obtenido según tipo de cobertura natural**



Nota 1: Bosque denso alto de tierra firme (BDATE), Bosque denso bajo de tierra firme (BDBTF), Bosque de galería y/o ripario (BG-RIP), Herbazal denso (HD), Herbazal abierto (HA), Arbustal denso (ARB-D) Y Arbustal abierto (ARB-AB).

Nota 2: Fuente. El autor.

#### ***4.2.2 Principales Aportes Encontrados por UHNI - Cruce de Información:***

##### ***POT/PBOT/EOT, SIPRA y el IGAC***

De acuerdo con la revisión documental realizada en el los POT/PBOT/EOT, SIPRA y el IGAC, se encontró, que los diferentes municipios que integran la parte alta del río Sogamoso, poseen un uso del suelo actual que discrepa con el uso ideal o de aptitud, el cual vale la pena revisar y profundizar con herramientas mucho más pertinentes como imágenes satelitales de mejor resolución espacial y estudios de uso del suelo. Al respecto, vale la pena

aclarar, que los estudios de usos productivos recomendados por el SIPRA y por el IGAC se encuentran a escala 1:100.000.

Una vez hecha esta precisión, el SIPRA evidencia que la UHN1 del río Chucurí (municipio de San Vicente de Chucurí), posee una aptitud potencial para la industria avícola (Gallus) alta con un 62,72% (32.294,64 Ha), con respecto al total de su territorio. Sin embargo, este tipo de uso del suelo es muy bajo o nulo en dicho municipio. No obstante, el municipio de San Vicente de Chucurí es de vocación agrícola (cacao) y pecuario (producción de leche y carne bovina), según el PBOT. Sin embargo, la aptitud para la producción de carne y leche bovina no es apta en un 63,10%, de acuerdo el SIPRA. Otra actividad, con un alto potencial de aptitud productiva es la industria Porcícola, no obstante, esta actividad es más de subsistencia campesina que industrial en esta área de la cuenca del río Chucurí. Para una mayor comprensión ver la tabla 15.

**Tabla 15 Aptitud Productiva de Cacao, Carne y Leche Bovina, Avícola y Porcicola de la UHN1 Río Chucurí, Municipio de San Vicente de Chucurí**

Cuenca del Río Chucurí Área total: 51489,32 Ha.										
Aptitud	Cacao		Carne		Leche		Avícola		Porcicola	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Alta	14633,86	28,42	4280,48	8,31	2542,01	4,94	32294,64	62,72	16116,3	31,30
Media	7535,2	14,6	2962,3	5,75	4061,6	7,89	148,005	0,29	2046,9	3,98
Baja	0	0	109,29	0,21	518,68	1,01	0	0	0	0
No apta	17729,15	34,43	32492,05	63,1	32721,75	63,55	7454,71	14,48	21680,93	42,11
Exclusión legal	11591,04	22,51	11645,19	22,62	11645,19	22,62	11591,97	22,51	11645,19	22,62
<b>Totales</b>	<b>51489,32</b>	<b>99,99</b>	<b>51489,32</b>	<b>99,99</b>	<b>51489,31</b>	<b>100,01</b>	<b>51489,32</b>	<b>100</b>	<b>51489,32</b>	<b>68,71</b>

**Nota 1.** Ha: Hectárea

**Nota 2.** Fuente. El autor tomando datos del (SIPRA, 2020).

Resultados muy similares, se obtienen en el resto de UHN1 consultadas solo por la actividad productiva de carne y leche bovina, teniéndose en cuenta que gran parte de las

UHN1 objeto de estudio, la ganadería es una actividad económica dominante como se evidencia en la siguiente tabla.

**Tabla 16 Aptitud Productiva de Carne y Leche Bovina por Municipio**

Aptitud %	Cuenca la Betuliana		Cuenca del río Chucurí				Cuenca del río Zapatoca		Cuenca Directos Sogamoso		Cuenca Agua Blanca y Pujaman	
	Municipio de Betulia.		Municipio San Vicente.		Municipio El Carmen.		Municipio de Zapatoca.		Municipio de los Santos.		Municipio de Lebrija.	
	Carne Bovina	Leche Bovina	Carne Bovina	Leche Bovina	Carne Bovina	Leche Bovina	Carne Bovina	Leche Bovina	Carne Bovina	Leche Bovina	Carne Bovina	Leche Bovina
Alta	10,7%	15,3%	17,9%	15,6%	5,9%	4,8%	7,5%	6,1%	5,1%	0,3%	17,9%	15,9%
Media	5,5%	2,0%	14,0%	15,1%	13,1%	9,0%	9,0%	8,6%	12,2%	5,1%	9,0%	13,9%
Baja	1,7%	0,4%	0,3%	1,3%	2,1%	6,8%	0,1%	1,3%	0,9%	12,6%	6,1%	2,7%
No apta	81,4%	81,6%	60,4%	60,7%	56,2%	56,6%	82,5%	83,1%	81,6%	81,8%	65,9%	66,2%

Nota 1. Fuente. El autor – datos tomados de la página oficial del (SIPRA, 2020).

Sí se observa, la tabla 16 puede evidenciar que las UHN1: la Betuliana, Zapatoca y; directo al río Sogamoso son territorios no aptos para la producción de carne y leche bovina; sin embargo, se enfatiza que son UHN1 donde la actividad ganadera es dominante.

Otro de los resultados encontrados relacionados con el uso del suelo son los referentes con los conflictos de uso; para este fin: se revisó el mapa de conflictos de uso del territorio colombiano a escala 1:100.000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020)-IGAC de la cuenca del alto río Sogamoso, obteniéndose los siguientes resultados. Ver la tabla 17.

**Tabla 17 Tipos de Conflictos por UHN1**

Cuenca	Tipo de conflicto						
	Sobreutilizado		Subutilización		Usos adecuados		Área total por cuenca
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	
Chucurí	21430,69	41,62	3968,46	7,71	16669,73	32,38	51489,33

D. Sogamoso	15837,95	61,52	1001,43	3,89	6673,33	25,92	25742,51
Betuliana	12319,73	55,50	34,90	0,16	9265,36	41,74	22198,61
Hidrosogamo	7612,63	45,23	4213,82	25,04	4889,30	29,05	16830,34
so.							
Zapatoca	4928,35	36,52	803,03	5,95	5674,32	42,05	13494,82
Aguablanca y Pujaman	6401,74	72,92	1295,49	14,76	1082,03	12,32	8779,26

**Nota 1.** Ha: Hectárea

**Nota 2.** Fuente. El autor – Tomando el mapa de conflictos de Uso del territorio colombiano a escala 1:100.000 del Instituto Agustín Codazzi, 2020.

Los resultados de la tabla 17 evidencian el conflicto de uso del suelo en cada una de las UHN1 del alto río Sogamoso. Llama la atención el conflicto de uso del suelo *por sobreutilización*, de la UHN1 del río Zapatoca, donde un 36,52% de su territorio posee este tipo de conflicto de uso del suelo. Mientras, la UHN1 del río Aguablanca y Pujaman, territorialmente, posee un 72,92% de su suelo con sobreutilización. Situación similar, evidencia la UHN1 Directos al río Sogamoso. Otro punto interesante, está relacionado con la subutilización territorial que evidencia la UHN1 de Hidrosogamoso, donde evidencia la irregular subutilización que posee la UHN1 en mención.

Desde el punto de vista del uso adecuado del suelo sobresalen las UHN1 la Betuliana y Zapatoca, las cuales demuestran, que sus territorios poseen un uso adecuado entre un 41,74 al 42,05%. Igualmente, llama mucho la atención la UHN1 Aguablanca y Pujaman por su bajo (12,32%) uso adecuado del suelo.

#### ***4.2.3 Aporte de los Resultados Obtenidos al Desarrollo Sostenible***

Sin duda alguna, mediante la metodología de concebir las UHN1 como un sistema socioecológicos integral y holístico, se pudo comprobar, la practicidad para reconocer y

deducir **¿cuáles son los subsistemas socioecológicos estratégicos para el desarrollo territorial?**, como también ¿cuál es el estado de los mismos?, y a partir de estos insumos base, a) construir indicadores de cambio de coberturas, programas, proyectos y estrategias para el ordenamiento territorial, b) concebir un desarrollo sostenible o sendas de sostenibilidad en función del tiempo, de manera tal que se garantice la creación de equidad intergeneracional para las poblaciones futuras. En síntesis, el aporte radica entonces en ¿cómo generar metodologías claras y precisas de cómo hacerlo?, de ¿cómo aterrizar la conceptualización y teorización al campo de trabajo real? con la documentación dichas experiencias significativas.

Otro de los aportes encontrados y que pueden contribuir al DS bajo el enfoque de concebir las UHN1 como un sistema socioecológicos integral y holístico, con aquellas que comparten recursos, servicios ambientales y territorios, y que están ubicadas en la frontera administrativa entre dos o más organismos territoriales; donde mediante el uso de SIG e imágenes satelitales, se pueden deducir los posibles conflictos de intereses por parte de los organismos territoriales administrativos, especialmente en el orden local o municipal, donde es posible que cada municipio tenga un uso de suelo diferente con respecto a su vecino, o bien cada jefe de gobierno discrepe de ¿cuáles son o deberían ser los subsistemas socioecológicos estratégicos para su desarrollo territorial?, y si se contemplan las mismas acciones, especialmente las financieras para el mantenimiento de las UHN1 compartidas.

Este tipo de conflictos fronterizos en las UHN1 se pueden mejorar mediante la generación de ciencia, conocimiento y tecnología, mediante alianzas estratégicas con grupos de investigación de instituciones educativas superiores, actores sociales e instituciones públicas territoriales, como una estrategia para la construcción del DS.

Una posible recomendación, sería la de generar estudios complementarios, y en ellos se analicen los alcances y enfoques para fomentar el desarrollo sostenible en territorios de frontera, y de igual manera los alcances y limitaciones para unificar planes, programas, proyectos, estrategias y, especialmente, recursos financieros en un fondo común, que propenda por la optimización y eficiencia de los subsistemas socioecológicos estratégicos, como por ejemplo: el recurso hídrico y los servicios ambientales compartidos.

Finalmente, los resultados obtenidos y relacionados con las problemáticas del ineficiente uso del suelo agropecuario, se pueden mejorar mediante la aplicación de estrategias de desarrollo sostenible, como es la educación ambiental. La sobreutilización del uso del suelo es producto de las prácticas tradicionales de producción campesina, de la escasa o nula investigación científica y de la poca transferencia tecnológica hacia el sector rural, de la nula alianza de la relación comunidad-universidad-entidades públicas, de los efectos subyacentes de la política pública para “promover el desarrollo rural y la productividad y competitividad de los productores agropecuarios” en función del crecimiento urbano, principalmente.

En síntesis, los resultados obtenidos pueden contribuir significativamente en la búsqueda y construcción del DS, sin embargo, su eficacia dependerá del enfoque economicista de la gestión pública relacionadas con el capital natural, como también, esencialmente; de las fuentes de financiamiento identificadas y de la magnitud monetaria de los mismos.

Teniendo en cuenta los resultados articulados en este agregado se declara cumplido el objetivo específico 2, denominado: **Determinar la contribución de la delimitación por unidades hidrográficas de nivel 1 del alto río Sogamoso.** El objetivo se cumple al demostrar la pertinencia de las UHN1 como unidad de análisis, detectándose de manera fácil

y concreta, la fragmentación por tipo de ecosistema, las problemáticas de sobreexplotación y subutilización, la aptitud potencial versus vocación productiva y las argumentaciones de como las UHN1 contribuyen al DS, **ver las tablas 14 a la 17 y la figura 10.**

También, se acepta el supuesto planteado para el segundo objetivo específico, donde: La delimitación por unidades hidrográficas de nivel 1 son de vital importancia en el enfoque moderno del ordenamiento territorial, ya que ellas, no solo brindan bienes materiales, sino también servicios ecosistémicos vitales para mejorar el desarrollo y calidad de vida de la población a diferentes escalas espaciales y sociales, entre ellos, uno de los más importantes, el recurso hídrico, vital no solo para el desarrollo económico, sino también el social y ambiental.

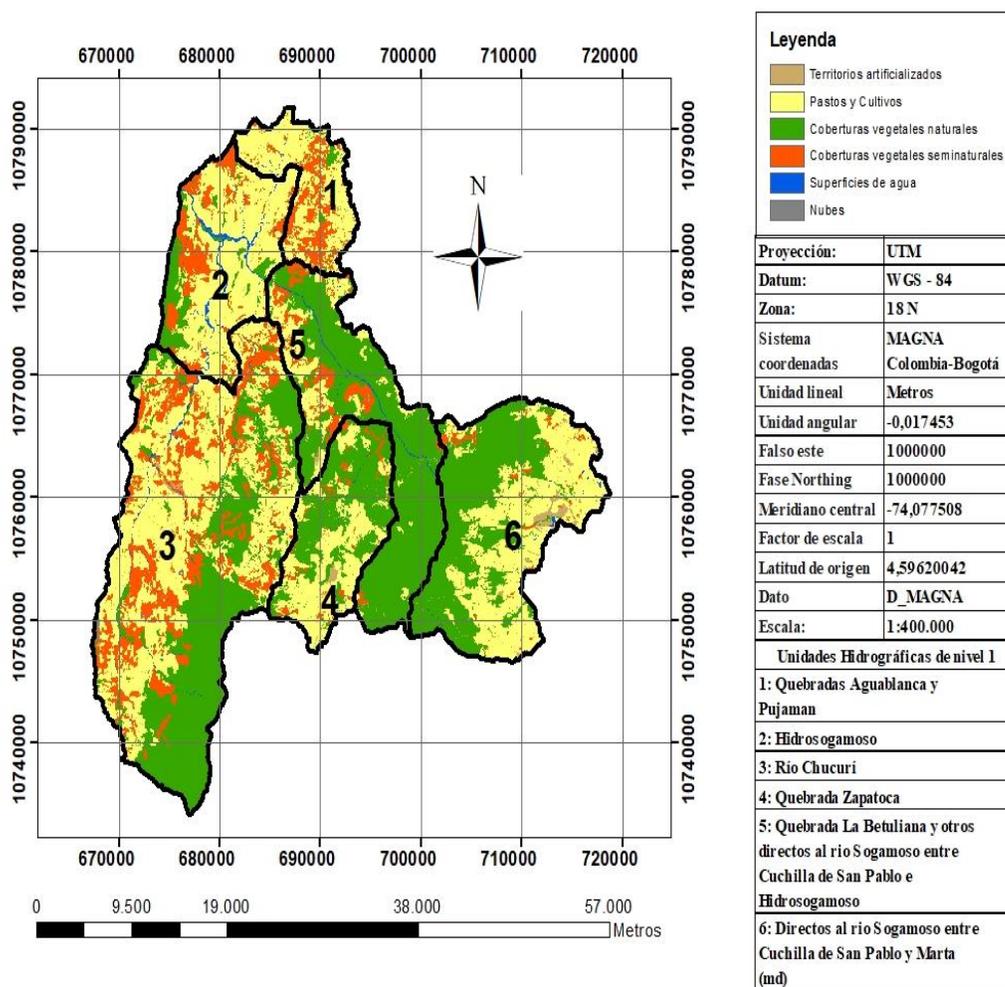
#### **4.3 Objetivo específico 3: Contrastar mediante modelación y generación de escenarios futuros acciones de mejora para el ordenamiento territorial en las unidades hidrográficas de nivel 1 del alto río Sogamoso con los instrumentos de ordenamiento territorial vigente.**

A continuación, se exteriorizan los principales aportes encontrados y que satisfacen el objetivo: contrastar mediante modelación y generación de escenarios futuros las acciones de mejora para el ordenamiento territorial en las unidades hidrográficas de nivel 1 del alto río Sogamoso con los instrumentos de ordenamiento territorial vigente. Los siguientes resultados provienen de cada una de las fases planteadas en el diseño de la investigación.

Una vez, desarrollado el procedimiento metodológico planteado anteriormente, se obtuvieron los respectivos mapas simulados al año 2030. Para identificar espacialmente, ¿cuáles UHN1 probabilísticamente son las más propensas al cambio o *donde se puede ubicar el cambio* en cada una de las seis UHN1?, para ello, se sobrepuso o se intersecaron los mapas

obtenidos en cada uno de los escenarios futuros construidos con la capa ráster de las seis UHN1. Ver las figuras 11, 12 y 13.

**Figura 11 Mapas Simulados al 2030, Escenario Futuro de Tendencia**

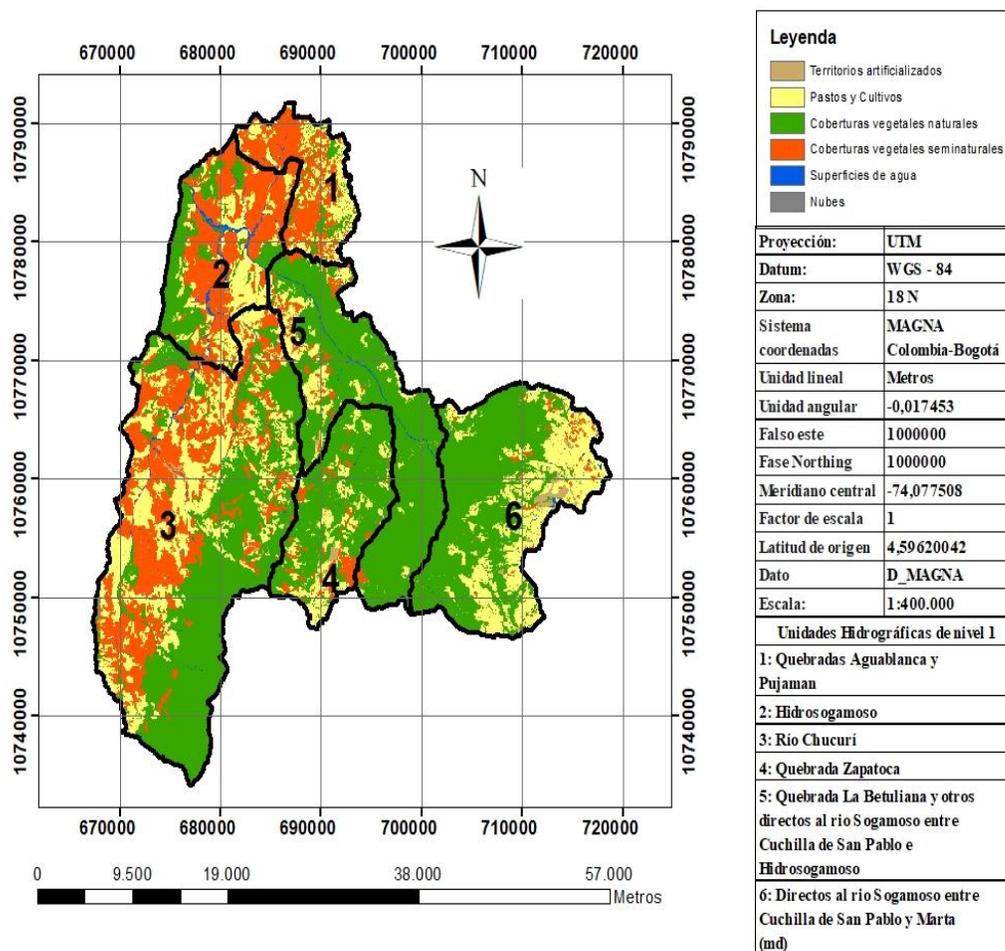


**Nota 1:** USHN1-Quebradas Aguablanca y Pujamán, 2: USHN1-Hidrosogomoso, 3: USHN1-Río Chucurí, 4: USHN1-Quebrada Zapatoca, 5: USHN1- Quebrada la Betuliana y 6: USHN1- Directos al río Sogomoso entre Cuchilla de San Pablo y Marta (md).

**Nota 2.** TA: Territorios artificializados, PyCult: Pastos y cultivos, CVN: Coberturas vegetales naturales, CVSN: Coberturas vegetales seminaturales, SA: Superficies de agua, Nubes.

**Nota 3.** Fuente: El autor

**Figura 12 Mapas Simulados al 2030, Escenario Futuro Optimista o Deseado**

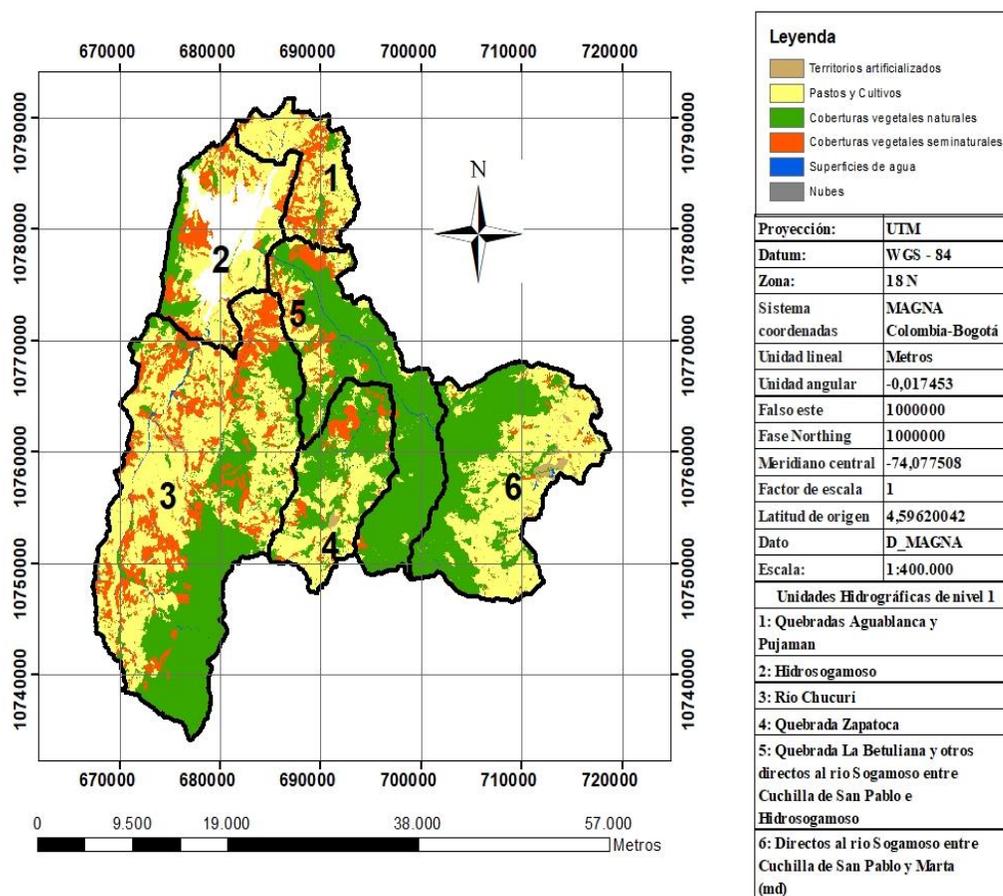


**Nota 1:** USHN1-Quebradas Aguablanca y Pujamán, **2:** USHN1-Hidrosogamoso, **3:** USHN1-Río Chucurí, **4:** USHN1-Quebrada Zapatoca, **5:** USHN1- Quebrada la Betuliana y **6:** USHN1- Directos al río Sogamoso entre Cuchilla de San Pablo y Marta (md).

**Nota 2.** TA: Territorios artificializados, PyCult: Pastos y cultivos, CVN: Coberturas vegetales naturales, CVSN: Coberturas vegetales seminaturales, SA: Superficies de agua, Nubes.

**Nota 3.** Fuente: El autor

**Figura 13 Mapas Simulados al 2030, Escenario Futuro Pesimista o no Deseado**



**Nota 1:** USHN1-Quebradas Aguablanca y Pujamán, 2: USHN1-Hidrosogamoso, 3: USHN1-Río Chucurí, 4: USHN1-Quebrada Zapatoca, 5: USHN1- Quebrada la Betuliana y 6: USHN1- Directos al río Sogamoso entre Cuchilla de San Pablo y Marta (md).

**Nota 2.** TA: Territorios artificializados, PyCult: Pastos y cultivos, CVN: Coberturas vegetales naturales, CVSN: Coberturas vegetales seminaturales, SA: Superficies de agua, Nubes.

**Nota 3.** Fuente: El autor

Aquí vale la aclaración, un escenario es optimista, 1) sí se parte del criterio que las coberturas vegetales naturales contribuyen significativamente al DS, ya que espacialmente son sistemas socioecológicos que proveen SE, vitales para el desarrollo integral del ser humano, 3) son el hábitat de un sin número de especies vivas que proveen igualmente SE y 3) sí obedece al cumplimiento de las determinantes ambientales en el ordenamiento territorial para garantizar su sostenibilidad en función del tiempo. A su vez, un escenario futuro

pesimista, sería aquel que no tiene en cuenta o no alcanza el cumplimiento de los determinantes ambientales en el ordenamiento territorial sostenible en el corto, mediano y largo plazo. Así, altas tasas de deforestación o fragmentación de las CVN y CVSN pueden reducir la cantidad y calidad de los SE y por ende la sostenibilidad del territorio.

Así, se encontró:

1. En el caso del escenario futuro de tendencia “*Deforestación*” y del escenario futuro 3 *Pesimista*, con una deforestación mayor o igual a la observada en el periodo 2005-2019, se evidencia un CCUS de la CVN y CVSN hacía pastos y cultivos, perdiéndose un total entre 6954,2 a 7325,1 ha en la próxima década. Fundamentalmente, en las UHN1 ubicadas al costado norte-occidental: quebrada Aguablanca y Pujaman, Hidrosogamoso, río Chucurí, quebrada Zapatoca y la quebrada la Betuliana; demostrando, una visión economicista o tradicional de territorios con bajos criterios de desarrollo sostenible.
2. En este sentido, se deduce una posible reducción y degradación de los SE de provisión de agua dulce y de la función regulación de microclimas, que no solo afectaría la escala loca/regional, sino también a la demás.
3. El escenario futuro 2 denominado Optimista o *deseado* Conservación-Recuperación, demuestra: a) la posibilidad de recuperar 4176,3 ha para la próxima década, b) una ***visión de territorio*** mucho más pertinente con los actuales criterios de los ODS, c) una responsabilidad política social de los entes gubernamentales por la implementación de acciones que propenden por el alcance de los ODS, especialmente; los relacionados con los SE en la gestión de los recursos hídricos de agua dulce y la importancia de las CVN y CVSN por sus dinámicas ambientales ecosistémicas. Las cuales benefician a diferentes escalas espaciales y sociales a la

humanidad y las cuales; se considerarán tan necesarias para reducir y contribuir a la actual problemática del cambio global.

Esta visión de territorio, como todo escenario futuro, no depende solo de la política pública y de los poderes públicos territoriales, sino de *¿cómo se impulsa y se construye una visión de territorio colectivamente?*, de manera tal que la cohesión social territorial sea uno de los principales motores de empuje.

A su vez, se encontró según las transiciones modeladas *¿cuáles son las variables que poseen pesos significativos y en que intervalo influyen para impulsar el cambio en la próxima década?*, ellas se pueden apreciar en la Tabla 18.

**Tabla 18. Pesos de Evidencia por Transición y Tipo de Variable Explicativa en la Modelación de los Escenarios Futuro**

Transición CVN a Pastos y Cultivos	Rango de intervalo en metros	Peso +
AHidro	11000 a 16000	0,47737
Minería	4800 a 9600	0,346947
ANP	0 a 11	0,178791
CP	0 a 6000	0,405415
DEF	0 a 20	1,668695
DTM	1100 a 2200	0,330952
IPD	0 a 3900	0,144529
PEN	0 a 27 G.	0,005529
Pastos y cultivos.	0 a 426	0,011464
Ríos	0 a 1100	0,176193
Vías	3300 a 12100 0 a 1000	0,453414 0,308608
Transición CVN a CVSN	Rango de intervalo en metros	Peso +
AHidro	0 a 3500	1,922167
ANP	0 a 11	0,143771
CP	9000 a 18000	0,845520
DEF	0 a 530	0,037457
DTM	0 a 700	0,581063
IPD	3200 a 7200	0,002016
PEN	5 a 23 G.	0,175586
Pastos y cultivos.	0 a 552	0,059944
Tend_electri	4100 a 8200	0,424313
Ríos	0 a 2300	0,294002
Vías	5000 a 10000	0,246528

Transición CVSN a Pastos y cultivos.	15000 a 20000 Rango de intervalo en metros	0,383585 Peso +
AHidro	4100 a 20500	0,7424004
ANP	0 a 11	0,0293442
CP	0 a 5500	0,1757218
DEF	0 a 1	5,8457888
	1 a 11	0,5072800
DTM	0 a 900	0,0665271
	1800 a 2700	0,7309161
IPD	1150 a 3450	0,1965478
	4600 a 5750	0,4623681
PEN	0 a 27 G	0,0546769
Pastos y cultivos.	130 a 975	0,0801239
Ríos	0 a 3500	0,0104227
	0 a 7500	0,0419320
Vías	15000 a 22500	0,0458932

**Nota 1:** Para la transición CVN a Pastos y cultivos se eliminó la variable tendidos eléctricos por mostrar una correlación superior del 0,63.

**Nota 2:** Para la transición CVN a CVSN se eliminó la variable Minería por mostrar una correlación superior del 0,55.

**Nota 3:** Para la transición CVSN a pastos y cultivos se eliminó la variable tendidos eléctricos por mostrar una correlación superior del 0,59.

**Nota 4.** AHidro: Áreas de hidrocarburos, ANP: Áreas naturales protegidas, CP: Centros poblados, DEF: Áreas deforestadas, DTM: Modelo de elevación digital, IPD: Índice de presión demográfica, PEN: Pendiente, Tend\_eletric: Tendidos eléctricos y Transición CVSN a Pastos y cultivos.

**Nota 5.** Fuente: El autor

Además; físicamente de mostrar una reducción de las CVN y CVSN, en consecuencia, los resultados obtenidos logran evidenciar que las UHN1: Quebradas Aguablanca y Pujamán, Hidrosogamoso y Río Chucurí, serán las UHN1 las que probabilísticamente tendrán una mayor intervención a futuro, según los escenarios futuros diseñados. Lo anterior implica, que serían estas las UHN1 de mayor monitoreo ambiental para la próxima década. La pregunta que surge aquí es *¿qué tan viable es la implementación del escenario futuro Optimista en la próxima década? ¿de quién o de quienes depende el direccionamiento estratégico territorial? ¿qué tanto poder de decisión poseen los actores locales para orientar su territorio al DS?*

### ***4.3.1 Principales Acciones por Tipo de Escenario***

- **Escenario futuro de tendencia.** En el escenario de tendencia existen al menos tres motores de cambio muy fuertes de frenar, ya que en función de ellos descansa el crecimiento económico de la región, ellos son: 1) las áreas de hidrocarburos, 2) la minería y 3) la expansión de la frontera agropecuaria, por lo tanto, para este tipo de escenario se recomienda acciones encaminadas a la recuperación de las áreas degradadas. Las cuales se expusieron en las anteriores líneas: como acciones ambientales y acciones socioeconómicas e Institucionales, fundamentalmente.
- **Escenario futuro optimista o deseado.** Para este tipo de escenario futuro, la clave radica en ¿Cómo impulsar-promover procesos de recuperación y de conservación?, que mejoren sustancialmente la estructura, composición y funcionalidad de las CVN y de las CVSN, por ende, los SE. Para este escenario futuro existen al menos tres motores de cambio esenciales, ellos son: 1) la recuperación de las áreas degradadas en las categorías de CVN y CVSN, especialmente las rondas hídricas, 2) la conservación del área declarada de preservación, 3) la reparación de las áreas declaradas de recuperación y 4) frenar la adjudicación de nuevos títulos mineros en la región. En consecuencia, 1) se recomiendan acciones encaminadas a la recuperación de las áreas degradadas mediante procesos de recuperación y preservación, 2) el desarrollo de actividades que propendan por el desarrollo de una gobernanza tipo B, y 3) un mayor empoderamiento de los actores sociales en la planeación territorial y ejecución de políticas públicas, fundamentalmente.
- **Escenario futuro pesimista o no deseado.** Para este escenario futuro, se identifican los siguientes motores de cambio, los cuales ejercerían una mayor presión de cambio de uso del suelo y de la deforestación, ellos son: 1) aumento de las áreas mineras, 2)

mayor influencia territorial de la implementación del plan de usos alternativos de Hidrosogamoso, 3) aumento de vías de comunicación y de tendidos eléctricos producto de la expansión económica de la región, 4) incidencia del desarrollo turístico en la región y 5) una mayor ampliación de la frontera agropecuaria en función de los mercados. Para este tipo de escenario se recomienda acciones encaminadas a: 1) la planeación territorial prospectiva, 2) el cumplimiento estricto de las normas ambientales, 3) procesos de empoderamiento territorial con los actores sociales para la construcción de territorios sostenibles y 4) implementación de procesos de corto, mediano y largo plazo de reconvención productiva.

En conclusión, cualquiera de los tres escenarios es posible de darse, sin embargo, se recomienda centrar esfuerzos para el alcance del escenario Optimista, creando junto con los actores sociales de cada UHN1, una visión compartida de territorio sostenible y de buenas prácticas ambientales, de manera tal, que la deforestación en el mediano y largo plazo sea mínima. La creación de redes de colaboración y de economía circular puede ayudar significativamente a construir un territorio con estándares de DS. Se requiere, de un trabajo mancomunado de empoderamiento ciudadano entre el poder público y los actores claves del territorio, teniendo en cuenta las bondades y características físico-ambientales, sociales, productivas e institucionales de cada UHN1.

En síntesis, se da por alcanzado el objetivo específico 3, denominado: *Contrastar mediante modelación y generación de escenarios futuros las acciones de mejora para el ordenamiento territorial en las unidades hidrográficas de nivel 1 del alto río Sogamoso con los instrumentos de ordenamiento territorial vigente*. Su alcance se logra cumplir, con el poder explicativo de las variables modeladas en cada uno de los escenarios futuros (**tabla 18**), como también de la comprensión visual y deductiva de cada uno de los escenarios

futuros, **figuras 11, 12 y 13**. A su vez, se da por aceptado el supuesto planteado para el objetivo 3, donde se planteaba, el poder explicativo que posee la modelación y la generación de escenarios futuros (con Dinámica Ego) como instrumentos analíticos en el ordenamiento territorial, es enriquecedor para el diseño de modelos de seguimiento y/o monitoreo de la deforestación, convirtiéndose en insumos vitales para la construcción de políticas públicas y toma de decisiones territoriales con fines de alcanzar un DS justo y equitativo. Ver la dinámica de cambio por tipo de cobertura en las **figuras 11, 12 y 13**.

#### **4.4 Discusión y Conclusiones**

Las conclusiones se presentan en el orden como fueron formulados los objetivos en el primer capítulo, mientras la discusión se deriva de los resultados obtenidos en el desarrollo de cada uno de los objetivos o capítulo de resultados obtenidos.

En la presente investigación (**ver el anexo 1, figura 9 y anexos 9, 10 y 11**) el objetivo general denominado: *Analizar la incidencia del cambio en la cobertura de la tierra en las unidades hidrográficas de nivel 1 del alto río Sogamoso en el marco del desarrollo territorial, periodo 2005-2019*, se logró satisfacer mediante la revisión de la literatura con un enfoque mixto de investigación, el cual permitió, el tratamiento de la información a partir de las teorías del cambio de cobertura de la tierra/uso del suelo, el diseño metodológico de la investigación y la implementación de técnicas-herramientas. Así, mediante la triangulación de metodologías, técnicas y herramientas se logró interpretar y declarar los resultados obtenidos. Metodológicamente, concebir las UHN1 como objeto de estudio, resultó ser de gran utilidad para analizar el CCUS y obtener los resultados sintetizados en este documento, especialmente por la concepción espacial y el aporte que este enfoque le puede brindar al ordenamiento territorial, ya que no solo se pueden dimensionar las presiones territoriales (**ver el anexo 13 y 14**), sino también la deducción de acciones y estrategias, la optimización de

los recursos y la validación/pertinencia de medios vitales para impulsar la construcción de un desarrollo territorial más de carácter regional, sin descuidar lo local, finalmente; brinda elementos de juicio para la construcción de políticas públicas y la toma eficiente de decisiones.

El sistema de información geográfica ArcGis 10.5, Fragstats versión 4.2 y Dinámica Ego, son técnicas y herramientas incuestionables, no solo para la identificación espacial del CCUS (**ver las figuras 11, 12 y 13**), sino también para la construcción de modelos de escenarios futuros en los procesos de planeación y ordenamiento territorial, donde se debe articular el capital natural y el Desarrollo Sostenible, en este sentido los resultados obtenidos son coherentes con los planteamientos teóricos y conceptuales de (São Miguel et al. 2020; Ayele et al. 2019; López Alegría et al. 2018; Espinoza-Mendoza, 2016; Osorio et al. 2015; Pacheco, 2015; Aguilera y Botequilha, 2012; Maza Vázquez, 2010).

**En cuanto, al objetivo específico 1:** *Identificar el cambio en la cobertura de la tierra en las unidades hidrográficas de nivel 1 del alto río Sogamoso*, los resultados obtenidos permitieron identificar la complejidad y necesidad de desarrollar estudios multitemporales del CCUS en la parte alta de la cuenca del río Sogamoso en pro del DS, al llegar a este punto se pudo apreciar la pertinencia metodológica, teórica y conceptual de los resultados obtenidos con los planteamientos propuestos por: (Guerrero, 2019; López et al, 2018; Gordillo-Ruiz y Castillo Santiago, 2017; Chaparro López, 2017, Bocco y Urquijo 2013; Fajardo y Niño, 2012; Berkes y Folke, 1998).

A su vez, la metodología planteada por Aldwaik y Pontius (2012) resultó ser muy asertiva para obtener las tasas de cambio y las transiciones mediante la obtención de las matrices de transición de cambio, con ellas se logró identificar tasas de cambio anuales que oscilan entre el -0,43 (periodo 2005-2013) hasta el -1,23 (periodo 2013-2019) en áreas

naturales, siendo; las categorías de bosque denso y de galería, bosque fragmentado y vegetación secundaria las de mayor cambio. Mientras, las coberturas antropizadas: a) cultivos agroforestales y permanentes (CAP) evidenciaron tasas anuales de crecimiento del 1,28 al 8,01, b) plantaciones forestales con tasas del 10,62 al 19 y c) cuerpos de agua artificiales con tasas anuales que oscilan del -0,80 al 1663,8 en periodo 2005-2013 al 2013-2019.

Por tanto, se encontró que para el periodo 2005-2019 las transiciones sistemáticas de CVN y CVSN hacia pastos y cultivos demostraron ser las dominantes. También se encontró, que no solo las variables endógenas territoriales, sino también, las exógenas, como; la ampliación de la frontera agropecuaria en función del mercado interno e internacional de bienes agropecuarios, la oferta de servicios turísticos como núcleos regionales generadores de riqueza y la generación de energía eléctrica en función de la demanda urbanística, son motores propulsores significativos del CCUS. A su vez, en cuanto el cambio por UHN1, se identificó que son las de: Aguablanca y Pujaman, Hidrosogamoso y el río Chucurí las de mayor trascendencia.

Gracias a los planteamientos metodológicos de Aldwaik y Pontius (2012), se logró dimensionar las principales dinámicas sistémicas (**ver figura 9**), como también la problemática de la cuenca del Alto río Sogamoso como: 1) El (BF) como es preferido por las coberturas de (CAP) con una tasa de intensidad del 0.82% anual, y por la (VST) con una tasa de intensidad anual del 0.37%, 2) Las (PF) como son preferidas frente a los pastos con una tasa de intensidad anual del 0.07%, (AAH) con una tasa de intensidad del 0.10% anual y (H-Arb) con una tasa anual de intensidad del 0.10% y 3) la dinámica de las (SA) resultaron ser las más activas por los altos valores % que recibe, categoría como: (PL, AR y ENM), (AAH),

(H-ARB) y especialmente de (VST). También es muy interesante ver la transición sistemática de (SA) a (PF) con 0,10%.

En cuanto a las métricas del paisaje, los resultados obtenidos son muy pertinentes con la propuesta de indicadores planteada por Zambrano et, al (2007), ya que permitió identificar el estado del ecosistema o área objeto de estudio como deseable para cierto tipo de coberturas vegetales naturales (**ver la tabla 14 y el anexo 11**), pero también permitió identificar coberturas con el indicador de no deseable, es decir con valores inferiores al valor deseado de 3. Este tipo de coberturas fueron: el bosque denso alto de tierra firme, bosque denso bajo de tierra firme, bosque de galería y/o ripario, herbazal denso, herbazal abierto, arbustal denso y arbustal abierto, mientras, las CVN de bosque denso bajo de tierra firme y el de Arbustal denso, demostraron un valor deseado de 3. El concepto de no deseado, significa que son coberturas vegetales que se vieron afectadas por la fragmentación (deforestación-degradación), bien sea en su estructura, funcionalidad o composición, según el indicador construido. Estos resultados, no solo, confirman el impacto del CCUS para el periodo 2013 – 2019 en la parte alta de del río Sogamoso, sino también, la pérdida de la calidad y cantidad de los SE de las UNH1 objeto de estudio.

Ante estos resultados surge la pregunta ¿cómo la deforestación o tasa de cambio en coberturas naturales como: Bosque denso y de galería (BD-Gal), Bosque fragmentado (BF), Herbazales y Arbustales (H-ARB), Vegetación secundaria o en transición (VST) y Superficies de agua (SA), evidenciada en el periodo 2013-2019 especialmente (**ver los anexos 14 y 15**), ¿está relacionada con el desarrollo sostenible del área objeto de estudio? o ¿cómo los resultados obtenidos en este capítulo pueden influenciar en el desarrollo sostenible de las UHN1 objeto de estudio en el corto, mediano y largo plazo?

1. La reducción de coberturas naturales como bosques, perjudica en cierto grado, las fuentes hídricas, atentando contra el Objeto del Desarrollo Sostenible-**ODS-N6**, del programa de naciones unidas para el desarrollo de “agua limpia y saneamiento”, donde “la escasez de agua afecta a más del 40% de la población mundial.
2. La reducción de coberturas naturales como bosques, también están relacionadas con el **ODS-N13**, acción por el clima, “no hay país en el mundo que no haya experimentado los dramáticos efectos del cambio climático. El calentamiento global está provocando cambios permanentes en el sistema climático, *cuyas consecuencias pueden ser irreversibles si no se toman medidas urgentes ahora*”
3. La reducción de coberturas naturales como bosques, conlleva a cierto grado de degradación de las tierras, al quedar ellas desnudas y expuestas a procesos de erosión y remoción de masas, atentando con el **ODS-N15**, vida de los ecosistemas terrestres, donde “la vida humana depende de la tierra, para su sustento y subsistencia”
4. Desde el punto de vista de la dinámica del uso del suelo, los resultados obtenidos, permiten deducir, que la categoría de AAH-Áreas Agrícolas Heterogéneas para el periodo 2013-2019, es una categoría que posee una intensidad de ganancia muy superior al % de dominio del intervalo y/o de la intensidad uniforme. Es decir, la actividad económica agropecuaria es mucho más intensa; y desde el punto de vista del crecimiento económico (ingreso per cápita) y del desarrollo sostenible este indicador es óptimo. Sin embargo, es también un reto para investigar que tan eficiente es el ecosistema agropecuario de la cuenca para “reducir la huella ecológica mediante un cambio en los métodos de producción y consumo de bienes y recursos, más aún, cuando la agricultura es el principal consumidor de agua del mundo” En este sentido, los resultados obtenidos contribuyen al **ODS N12**. Producción y consumo responsable.

5. Los resultados obtenidos, también logran evidenciar la política pública de la implementación del desarrollo sostenible por parte de la Corporación Autónoma Regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga CDMB y la promoción de la política pública de “Negocios Verdes”, mediante la reconvención productiva en cultivos agroforestales, contribuyen al **ODS N12**. Esto es: producción y consumo responsable.
6. Otra de las transiciones sistemáticas de la cuenca del río Sogamoso que registra una intensidad de ganancia muy superior al % de dominio del intervalo y/o de la Intensidad uniforme y que esta relacionada con la implementación del **ODS N7 - energía asequible y no contaminante**, es la categoría de superficies de agua, ya que ella fue redireccionada para la generación de energía eléctrica no contaminante, al aprovechar la energía cinética en energía eléctrica, la cual se considera menos contaminante que la energía eléctrica a partir de carbón, gas y biodiesel.

Para finalizar este primer punto, se plantean las siguientes acciones en pro del desarrollo territorial sostenible del área objeto de estudio y cada una de las UHN1 que la componen.

Las principales acciones están orientadas fundamentalmente a *¿Cómo desacelerar y reducir la deforestación de las coberturas vegetales naturales CVN y de las coberturas vegetales semi naturales CVSN? en la próxima década*, resaltando que las CVN para el periodo 2013-2019 perdieron un total de 2905,75 hectáreas-Ha, mientras las CVSN lo experimentaron en 3218,96 Ha, es decir 6124,71 ha en total. Se destaca que de este total: el 85% (5199,3 Ha) son CVN y CVSM que transitaron hacia la cobertura de Pastos y cultivos, mientras un 11,4% (695,58 Ha) fueron áreas absorbidas por el embalse y el resto son transiciones menores al 1% hacia los territorios artificializados y superficies de aguas.

➤ **Acciones.**

Teniendo en cuenta la anterior aclaración, las acciones sugeridas están relacionadas con procesos de conservación, preservación y recuperación, mediante acciones encaminadas a la reforestación de las CVN y CVSNS y articulado con acciones socioeconómicas que busquen a mediano y largo plazo una reingeniería de las principales actividades económicas productivas dominantes en el alto río Sogamoso y sus UHN1; que tengan como resultado aumentar la productividad por hectárea trabajada y de esta manera, frenar, desacelerar la expansión de la frontera agropecuaria.

➤ **Acciones Ambientales.**

1. Se propone recuperar al menos el 30% de las CVN (Bosque denso, Herbazales y arbustales) en la próxima década o al año 2030. La recuperación de CVN mejora la estructura, funcionalidad y capacidad de los ecosistemas y en consecuencia la calidad y cantidad de los SE vitales para el alcance de un desarrollo sostenible.
2. Se insinúa recuperar al menos el 30% de las CVN (bosque de galería y/o ripario o *rondas hídricas*) en la próxima década o al año 2030. El bosque de galería y/o ripario, cumplen funciones esenciales que evitan la degradación de los cauces de los ríos.
3. Se propone recuperar al menos el 30% de las CVSNS (bosque fragmentados con pastos y cultivos y bosque secundario) en la próxima década o al año 2030. La recuperación de las CVSNS es vital para la reducción de la degradación de tierras, el mejoramiento de los SE y el desarrollo social y económico de las UHN1 en el alto río Sogamoso.
4. Se propone recuperar las zonas deforestadas en el área definida por el Pomca del río Sogamoso como área de conservación. Las áreas definidas como de preservación juegan un papel importante para la construcción del DS. Fundamentalmente, no solo por los múltiples bienes y servicios que ellas aportan, son "mecanismos que favorecen la adaptación al cambio climático de las especies, el ser humano y las naciones"

➤ **Socioeconómicas e Institucionales**

1. Gubernamentalmente, hacer a escala local estudios que permitan *validar la aptitud productiva versus uso actual del suelo*, de al menos 5 de las actividades tradicionales de cada una de las UHN1 del alto río Sogamoso, para la toma de decisiones públicas o construcción de políticas públicas, que busquen una reconvención y/o sustitución de actividades productivas a nivel local, aumentando la productividad por hectárea cosechada, el nivel de ingresos y el empleo rural y así, frenar/desacelerar la expansión de la frontera agropecuaria en la próxima década.
2. Fomentar mediante incentivos fiscales, la implementación de mejores prácticas agropecuarias para así, frenar/desacelerar la expansión de la frontera agropecuaria en la próxima década.
3. Construir de una alianza estratégica entre las comunidades impactadas, la academia y el sector público local/departamental, con la finalidad de hacer transferencia pública de conocimiento a través de los grupos de investigación de universidades reconocidas o expertas en el tema, para el cumplimiento de la anterior acción propuesta.
4. Impulsar la creación de una red o cadena productiva de productos verdes o de mercado justo con esquemas de economía circular y/o de economía social-solidaria, articulada desde la fase de la producción, financiamiento, asistencia técnica, comercialización, políticas de precios y puesta final de los productos verdes en los principales hipermercados o centrales de abastos locales, regionales, nacionales e internacionales, para el mejoramiento de ingresos, empleo rural, diversificación productiva y calidad de vida de los actores sociales involucrados.
5. Generar procesos atractivos de inversión local, regional, nacional y extranjera para aprovechar el potencial que las UHN1 en el alto río Sogamoso poseen y que se

redimensionaron con la construcción del embalse de “Topocoro-Hidrosogamoso” y la implementación del plan de usos alternativos del embalse.

6. Impulsar estudios especializados para la identificación y factibilidad de sitios turísticos en la parte alta del río Sogamoso, para ello se recomienda revisar la ley N0. 1962 del 28 de junio de 2019, la cual dicta “normas orgánicas para fortalecer la Región Administrativa y de Planificación (RAP) y de regiones como Entidades Territoriales (RET)”.
7. Hacer un estudio que permita identificar la percepción que tienen especialmente los productores o campesinos ubicados en cada una de las UHN1 del alto río Sogamoso sobre la importancia o rol de las CVN y CVSN para su calidad de vida, más que para su beneficio personal.
8. Aplicar programas de educación ambiental y de mejores prácticas, con la finalidad de generar empoderamiento y conciencia ciudadana, para la conservación y protección de las CVN y CVSN.
9. Involucrar o fomentar un rol mucho más activo de la población civil en la construcción de esquemas de Gobernanza tipo B o C de acuerdo con el mandato del documento: Estrategias Complementarias de Conservación en Colombia (Santamaría et al. 2018).
10. Revisar la factibilidad de vender SE y así mejorar los ingresos fiscales de los tesoros municipales.
11. Desarrollar estudios que evidencien ¿cuáles son las fallas para que las zonas declaradas de preservación registren actualmente procesos de actividad antropogénica o de deforestación?
12. Implementar acciones que permita el pago de SE.

➤ **Principales acciones sobre los servicios ecosistémicos, productivos, recreativos y manejo de recursos hídricos, por cada unidad hidrográfica de nivel 1.**

En el **anexo 16** se sintetizan las acciones relacionadas con los servicios ecosistémicos, productivos, recreativos y manejo de recursos hídricos, por cada unidad hidrográfica de nivel 1, aclarándose que ellas se deben sectorizar o zonificar teniendo en cuenta las características físico ambientales de cada una de las UHN1, son acciones que se derivan o provienen de las ya nombradas anteriormente, solo que aquí se discriminan algunas de ellas por UHN1.

En síntesis, los anteriores argumentos más los expuestos en líneas anteriores, no solo dan por alcanzado el objetivo específico denominado como: Identificar el cambio en la cobertura de la tierra en las unidades hidrográficas de nivel 1 del alto río Sogamoso, sino también, responder las preguntas de investigación de ¿cómo repercute el cambio en la cobertura de la tierra en las unidades hidrográficas de nivel 1 del alto río Sogamoso? y ¿cuáles cambios ha mostrado la cobertura de la tierra en las unidades hidrográficas de nivel 1 en el alto río Sogamoso en el periodo 2005-2019?

Presentados los resultados encontrados del objetivo específico 1, y teniendo en cuenta los argumentos compilados en líneas anteriores; se da por cumplido el objetivo específico 1, a su vez; *se acepta el supuesto planteado* para dicho objetivo específico: esto se aclara, al revisar el comportamiento positivo y significativo de las principales transiciones sistemáticas, sintetizadas en las **tablas 19, 20, 21 y figura 9**, principalmente.

**En relación con el objetivo específico 2:** *Determinar la contribución de la delimitación por unidades hidrográficas de nivel 1 del alto río Sogamoso y ¿cómo contribuye la delimitación por unidades hidrográficas de nivel 1 del alto río Sogamoso en el marco del desarrollo territorial sostenible?*, se encontró, que las UHN1 ideadas como SSE contribuyen

incalculablemente en la construcción y alcance del actual paradigma del DS. Fundamentalmente, por el suministro de sus Servicios Ecosistémicos, comprobándose las disertaciones teórico conceptuales de (Haines-Young y Potschin, 2013; Costanza et al, 2014; De Groot, 2012; Gómez-Baggethun y De Groot, 2007; De Groot, 2006; Correa Restrepo, 2005; Millennium Ecosystem Assessment, 2004; Costanza et al, 1997).

Así, la provisión de agua dulce para la generación de energía eléctrica (caso concreto), producción agropecuaria y reproducción de la vida de todas las especies vivas, como también en los procesos de regulación de los microclimas a escala local/regional/nacional, las convierte en un recurso natural estratégico, que se debe incluir en los procesos de planeación y ordenamiento territorial.

La inclusión de las UHN1 en los procesos de planeación y ordenamiento territorial, demanda periódicamente la generación de información pertinente para evaluar económica, social y ambiental el valor material e intangible de sus SE a diferentes escalas. Así, los métodos de valoración económica ambiental, junto con el desarrollo conceptual de los SE, se han convertido en los últimos 15 años en herramientas esenciales para la generación de insumos para los procesos de gestión, planeación ambiental y de políticas públicas.

Adicionalmente, la triangulación de información, permitió reconocer el potencial que las UHN1 del alto río Sogamoso poseen para hacer una posible reingeniería de su estructura productiva, 1) en función de la venta de Servicios Ecosistémicos, 2) la distorsión entre la aptitud del suelo y su uso actual, teniendo en cuenta los estudios desarrollados por el IGAC y el SIPRA, los cuales pueden mejorar la producción por hectárea sembrada y 3) la dinámica regional de crecimiento en función de la implementación y puesta en marcha del plan de usos alternativos del embalse Hidrosogamoso “Topocoro”

Concretamente, el aprovechamiento de este potencial depende en gran medida de la gestión pública de los organismos gubernamentales locales/departamentales y de la articulación de los actores social en la planeación y ordenamiento territorial, esencialmente; la construcción de un enfoque o visión de territorio, más de carácter regional que local, por el impacto del embalse en la región.

Finalmente, se declara el alcance del objetivo específico 2, al demostrarse la pertinencia de las UHN1 como unidad de análisis y la contribución de sus SE al DS. En este sentido, *se acepta el supuesto planteado* para dicho objetivo, donde: la delimitación por unidades hidrográficas de nivel 1 son de importancia en el actual marco del ordenamiento territorial, ya que ellas, no solo brindan bienes materiales, sino también servicios ecosistémicos vitales para mejorar el desarrollo y calidad de vida de la población a diferentes escalas espaciales o concepción del actual paradigma del desarrollo sostenible, entre ellos, dos muy importantes; el recurso hídrico y la regulación de los micro climas.

**En relación, con el objetivo específico 3** denominado: *Contrastar mediante modelación y generación de escenarios futuros acciones de mejora para el ordenamiento territorial en las unidades hidrográficas de nivel 1 del alto río Sogamoso con los instrumentos de ordenamiento territorial vigente y ¿cómo las acciones propuestas pueden contribuir a la sostenibilidad de las unidades hidrográficas de nivel 1 del alto río Sogamoso?* como lo justifica (Espinoza-Mendoza, 2016; López Alegría et al, 2018), se encontró, que:

- a) Dinámica ego, es una herramienta imprescindible, no solamente para identificar la deforestación y sus motores propulsores, sino también, para concebir espacial y geográficamente los procesos de planeación y ordenamiento territorial, ya que permite, deducir las múltiples relaciones de las variables propulsoras del CCUS, la probabilidad de donde pueden suceder dichos cambios espacialmente. Facilitando sin

duda alguna, los procesos de gestión ambiental y la optimización de los recursos financieros en comparación con los extensos y costosos trabajos de campo, esto no quiere decir que los reemplaza, sino que se complementan, optimizando recursos. *Concretamente, el modelamiento y la generación de escenarios con Dinámica Ego, no solamente es importante para estudiar la deforestación, sino en general para la apuesta de desarrollo territorial de la cuenca objeto de estudio.*

- b) La construcción de escenarios futuros con la herramienta Dinámica Ego, metodológicamente, demandó, además de los mapas de coberturas vegetales de los tiempos  $t_0$ ,  $t_1$  y  $t_2$ , la identificación de las principales variables explicativas o motores del CCUS en el alto río Sogamoso y de las UHN1 que la integran. La construcción de dichos modelos son un proceso interactivo-deductivo, donde los autómatas celulares pueden predecir la probabilidad de cambio y donde puede ser su ocurrencia.

Así, se encontró, que el escenario futuro denominado: Optimista (*Conservación – Recuperación*), recrea una **visión de territorio** mucho más pertinente con los actuales criterios del DS y de los ODS, donde sin duda alguna, los SE de las UHN1 en el alto río Sogamoso, pueden mejorar sustancialmente en cuanto a calidad y cantidad. Espacialmente, en el soporte hídricos de agua dulce, vital para reproducción de la vida en todas sus expresiones y los SE de regulación de los microclimas y calidad del aire a escala local/regional/nacional, tan necesarias para fomentar la reducción del cambio climático.

A manera de aclaración, se debe mencionar que los escenarios futuros son representaciones de una determinada realidad, la cual puede llegar a ser posible, *si y solo si*, se repiten los mismos comportamientos de los años pasados. Así, la modelación y simulación del CCUS, solo es un modelo prospectivo, de cómo puede ser o verse el área objeto de estudio en la próxima década, sirve como referente para orientar la toma de decisiones, la

identificación de alarmas tempranas, la concepción de modelos de monitoreo y seguimiento, como también, la abstracción de relaciones problemáticas.

Por último, la principal limitación en la presente investigación fue el acceso y requerimiento de imágenes satelitales de buena calidad y resolución espectral, teniendo en cuenta los periodos multitemporales (2005-2013-2019), ya que la escala de trabajo fue la de 1:25.0000. Las imágenes satelitales Sport 5, como las Rapideye, poseen el problema que “se afectan con la presencia de bruma – nubes”, las imágenes Radideye, “no posee la banda de infrarrojo medio el cual es muy útil para separar mejor humedad en vegetación y unidades antrópicas ya sean puras o en mosaicos”, las imágenes Sport 5 poseen menor resolución espectral que las del sensor Rapideye limitándose su capacidad de realizar cartografía temática a una escala 1:25.000” Ambos, sensores captan la radiación emitida por los cuerpos en la tierra, limita entonces su obtención de imágenes a horas luz solar”, tal como lo argumenta el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios ambientales-IDEAM y el Instituto de Investigaciones Biológicas Alexander Von Humboldt-IAVH. (2014).

Se da por alcanzado el objetivo específico 3, ya que su alcance se logra satisfacer, al demostrarse el poder explicativo de las variables empleadas (**tabla 18, figuras 11, 12, 13 y el anexo 12**) y modeladas en cada uno de los escenarios futuros construidos. En consecuencia, se *acepta el supuesto planteado* para dicho objetivo, donde se esbozaba, el poder explicativo que posee la modelación y la generación de escenarios futuros como instrumentos analíticos en el ordenamiento territorial, es enriquecedor para el diseño de modelos de seguimiento y/o monitoreo de la deforestación, convirtiéndose en insumos vitales para la construcción de políticas públicas y toma de decisiones territoriales con fines de alcanzar un DS equitativo y justo.

Finalmente, desde el punto de vista del diseño metodológico, la concepción de un enfoque mixto (cualitativo-cuantitativo), se considera muy pertinente para estudiar las problemáticas del CCUS, apoyado con SIG como ArcGis e imágenes satelitales de buena resolución espectral. A su vez, modelar las variables motoras del cambio, permiten, no solamente detectar la tendencia de la deforestación, sino también la concepción de modelos prospectivos para la puesta en marcha del desarrollo territorial en un mundo cada vez más globalizado.

#### ***4.5.1. Recomendaciones***

En relación con el **objetivo general** de la presente investigación, los resultados obtenidos son insumos que pueden ser usados para la toma de decisiones gubernamentales y formulación/aplicación de políticas públicas que tengan por objeto una mejor articulación del capital natural, especialmente, los SE en los procesos de planeación y ordenamiento de los municipios que integran el área objeto de estudio, como una herramienta de gestión, no solo para identificar el CCUS y sus impactos a diferentes escalas (local, regional, nacional y global), sino también para la construcción y alcance de un DS equitativo y justo con la población presente como futura.

Para el **objetivo específico uno**, se recomienda a las autoridades locales y regionales, el diseño e implementación de acciones que ayuden en el corto, mediano y largo plazo a frenar/desacelerar la deforestación y degradación, especialmente, en las áreas declaradas de protección y de conservación. Para dicha ejecución, se debe tener en cuenta una visión integral, es decir, si el diseño y ejecución de dichas acciones se deben hacer a escala local o si existe la necesidad de unirse varios organismos municipales, ya que se encontró, a) que la deforestación y degradación en algunos sitios es compartida o es de frontera y b) uno de los principales motores de cambio es la expansión de la frontera

agropecuaria. La unificación de varios municipios para hacerle frente a la deforestación y degradación en la parte alta del río Sogamoso, como lo propone el decreto N° 1007 del 14 de junio del 2018, permitiría: 1) la concepción de acciones más de carácter integral, que, de carácter sectorial o específico, 2) la optimización de recursos públicos financieros para implementar acciones comunes, 3) el diseño de incentivos y beneficios para seguir fomentando la política de pagos por servicios ambientales, 4) la identificación de proyectos comunes para mejorar la oferta de servicios espirituales y de recreación, recuérdese; que la mayoría de municipios ubicados en la parte alta del río Sogamoso poseen una baja estructura fiscal o de recursos propios, es decir; depende en gran medida de los recursos de transferencias nacionales para fomentar sus dinámicas socio productivas.

Se recomienda profundizar los presentes resultados en lo relacionado con el uso actual del suelo y la aptitud de la tierra, ya que se encontraron discrepancias o conflictos de uso del suelo. Así, por ejemplo, el SIPRA y el IGAC recomiendan una serie actividades productivas mucho más amigables con el medio ambiente y las cuales pueden mejorar la productividad y la renta agraria. Sin embargo, 1) dichos estudios espacialmente están en escala 1:100.000 exigiendo la necesidad de bájalos a una escala mucho más detallada para determinar su viabilidad y 2) en los POT, PBOT y EOT se encontró el fomento de actividades productivas de bajo valor agregado (agricultura tradicional campesina), pero que culturalmente se han implementado en la parte alta del río Sogamoso. En síntesis, se recomiendan estudios de factibilidad para impulsar procesos de reconvención o reingeniería productiva agropecuaria, que contribuyan al mejoramiento de la renta per cápita, sectorial y regional, o sencillamente la generación de un DS mucho más incluyente y equitativo.

En relación con las UHN1 (**objetivo específico dos**), se recomienda a los organismos territoriales y a los diferentes actores organizados en el alto río Sogamoso, unir esfuerzos político-administrativos y recursos financieros, para aprovechar y explotar el potencial que dichas UHN1 poseen para la prestación o venta de SE, por ejemplo:

- Se pueden generar estrategias públicas o privadas de compensación monetaria para que las comunidades campesinas ubicadas en la parte alta de las UHN1, implementen acciones de buenas prácticas agropecuarias, con el fin de mejorar la calidad y cantidad del recurso hídrico.
- Se pueden generar estrategias para que cada una de las UHN1 del alto río Sogamoso implemente pagos por la absorción de carbono e impulse el mercado para dichas transacciones, atrayendo capital de inversión nacional e internacional de organizaciones internacionales como el banco mundial, fondo Biocarbono, grupos inversores y el fondo italiano de carbono. Estrategias, que sin duda alguna generan de ingresos monetarios para los actores territoriales implicados.
- Las UHN1, también pueden vender SE por medio de la oferta de productos “ecoetiquetados”, típicos de la región, por ejemplo: cacao, aguacates, piña, cítricos, avícolas, porcinos y derivados de la leche.
- La naciente industria turística del alto río Sogamoso, se puede organizar para impulsar programas de venta de SE, generando valor agregado a su cadena productiva mediante la implementación de estrategias de responsabilidad social empresarial, en vez de seguir compitiendo individualmente.
- Los entes gubernamentales, deben unir esfuerzos para continuar impulsando la venta de SE relacionados con los valores estéticos, culturales y espirituales, por ejemplo: la ruta de las cuevas de Zapatoca, las cuales se conectan con la región turística de

Barichara y Guane, o la ruta de ciclo montañismo que conecta a Zapatoca con Betulia y San Vicente de Chucurí. Como también pueden unir esfuerzos para impulsar la gastronomía típica de cada UHN1 bajo una misma marca o visión territorial.

- En las diferentes UHN1 del alto río Sogamoso se genera biomasa de tipo natural y residual, tales como: leña, cascara del cacao, café y residuos de la actividad ganadera que pueden ser estudiadas con la finalidad de vender SE relacionadas con la generación de Bioenergía.

En relación con el **objetivo específico tres**, se recomienda promover alianzas estratégicas de ciencia, investigación y transferencia tecnológica con grupos de investigación acreditados para potencializar la relación Universidad-Comunidad-Estado, articulando los diferentes actores territoriales en pro de la construcción social del DS. Ya que como se encontró, las UHN1 son un repositorio de infinito valor, así; más que un repositorio, pasan a ser un laboratorio de aprendizaje y desaprendizaje, por ejemplo: para impulsar procesos de educación ambiental mediante la participación-acción o de la experiencia vivida, mejorar los esquemas de gobernanza tipo B mediante la inclusión de pobladores más cercanos a las rondas hídricas como conservacionistas o guardianes de los ecosistemas, los programas relacionados con las ciencias ambientales, ecológicas y económicas, pueden generar y actualizar información vital para la toma de decisiones y políticas públicas, revisar el potencial que poseen las UHN1 de la parte alta del río Sogamoso para impulsar, fomentar y mejorar la venta de servicios ambientales etc. En últimas, las UHN1 al ser un repositorio de capital natural pueden convertirse en un aula de aprendizaje significativo para concientizar a una humanidad del valor estratégico que poseen los ecosistemas y sus SE para el alcance de un bienestar social humano, más de carácter colectivo, que individual.

En cuanto a la herramienta Dinámica Ego, tal como lo sostiene Espinoza-Mendoza (2017) se recomienda su aplicación por ser una herramienta muy poderosa para la construcción de escenarios futuros, ya que los autómatas celulares logran reproducir fácilmente ¿Cuál es la probabilidad de cambio?, pero muy esencial ¿hacia dónde puede dirigirse espacialmente el cambio? La identificación del ¿hacia dónde? es muy importante en los procesos de planeación y ordenamiento territorial, porque permite, deducir que subsistemas estratégicos (bosques, rondas hídricas, áreas de protección, áreas de recuperación, de conservación) pueden verse comprometidos a futuro por la dinámica del cambio. Así, por ejemplo, identificar cuanto será el cambio de expansión por adyacencia, facilita la zonificación ambiental, especialmente, la focalización de las estrategias y acciones para frenar la deforestación/degradación de los ecosistemas, igualmente; identificar cuanto será el cambio de expansión por nuevos parches y la ubicación espacial de los mismos, ayuda a la construcción de alarmas tempranas, como también de programas de seguimiento y monitoreo ambiental.

Se sugiere, además, la generación de otras variables que ayuden a explicar el CCUS con la herramienta Dinámica Ego y actualización de los escenarios futuros. Como, por ejemplo, el indicador de pobreza regional, el indicador de necesidades básicas insatisfechas, tamaño de los predios, nivel de estudio por núcleo familiar, grado de penetración de las exportaciones, nivel de inversión nacional y extranjera, impacto del plan de usos alternativos del embalse, grado de desarrollo turístico etc. También, existe la necesidad de crear una visión de territorio más de carácter regional que de carácter local (por el embalse), que ayude a consolidar el DS en cada una de las UHN1 y de sus SE.

Finalmente se sugiere, realizar estudios en profundidad sobre la oferta y demanda de SE, que contengan la provisión, regulación, soporte y cultura de estos para el alcance de los ODS.

#### ***4.5.2 Futuras Líneas de Investigación***

Por último, los resultados obtenidos pueden contribuir a la construcción de nuevas líneas de investigación orientadas a comprender la relación de las CCUS, UHN1, SE y el , DS, especialmente a identificar, cuantificar y concientizar el valor estratégico y la generación de la cadena de valor de las UHN1 y sus SE, no solo a la escala local, sino también, regional, nacional y globalmente, y de cómo articular los costos sociales de las externalidades al ciclo de la actividad productiva en una economía cada vez más globalizada e integrada, la cual impacta sin duda alguna el capital natural de las UHN1 y de los organismos gubernamentales locales.

Algunas líneas de investigación pueden ser:

- Adaptación basada en ecosistemas.
- Cambio climático y variabilidad del climática.
- CCUS en ecosistemas impactados por centrales eléctricas.
- Gestión sostenible en ecosistemas con potencial turístico.
- Gestión del riesgo y de desastres.
- Globalización y medio ambiente.
- Modelamiento y simulación de escenarios futuros con Dinámica Ego para el monitoreo y seguimiento de la calidad y cantidad de los SE.
- Modelamiento y simulación con Dinámica Ego en procesos de reingeniería productiva en ecosistemas estratégicos.
- Recursos hídricos y cambio climático.

- Economía de los recursos naturales.

#### 4.6 Bibliografía

- Achicanoy, J. A., Rojas-Robles, R., y Sánchez, J. E. (2018). Análisis y proyección de las coberturas vegetales mediante el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica en la localidad de Suba, Bogotá-Colombia. *Gestión y Ambiente*, 21(1), 41-58. <https://doi.org/10.15446/ga.v21n1.68285>
- Aguilar Gavira, S., y Barroso Osuna, J. (2015). Data triangulation as education researching strategy. *Pixel-Bit: Revista de medios y educación*, 47, 73-88. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.2015.i47.05>
- Aguilera Aragon, I., Monteagudo Latorre, S., Castaños Jover, J., González-Jiménez, A., y Escudero Barbero, R. (2009). El nivel 3 de la nomenclatura CORINE y la pérdida de representatividad de algunas clases importantes en el clc06 de la C.A. Aragon. *XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección*, 23-26, 393-396.
- AGUILERA BENAVENTE, 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.
- AGUILERA, F., Y BOTEQUILHA, A. (2012). SELECCIÓN DE MÉTRICAS DE LA ECOLOGÍA DEL PAISAJE MEDIANTE ACP PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE ALTERACIÓN DEL PAISAJE DEL ALGARVE, PORTUGAL. *INTERNATIONAL REVIEW OF GEOGRAPHICAL INFORMATION SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 12(MAY 2016), 93-121.
- ALDWAIK S. Z. Y PONTIUS R., G. (2012). *INTENSITY ANALYSIS*. RECUPERADO EL 13 DE MAYO DE 2019, DE INTENSITY ANALYSIS TO UNIFY MEASUREMENTS OF SIZE AND STATIONARITY OF LAND CHANGES BY INTERVAL, CATEGORY, AND TRANSITION.: [HTTPS://SITES.GOOGLE.COM/SITE/INTENSITYANALYSIS/](https://sites.google.com/site/intensityanalysis/)
- ALEMÁN, J. C. (24 DE FEBRERO DE 2017). PROBLEMÁTICAS DEL RÍO SOGAMOSOS. (PEÑUELA LIZCANO, J. D. ENTREVISTADOR)
- ALVEAR, N. (2018). *ESTUDIO MULTITEMPORAL DE CAMBIO DE USO DEL SUELO, EN LA MICROCUENCA DEL RÍO ESCUDILLAS*. 97.
- ALONSO, D., Y RAM, A. (2020). *ARTICULO AFECTACIONES AL DERECHO A UN MEDIO AMBIENTE SANO REVISTA USTATUNJA. JULY*.
- ANNAN, K.A., 2000. WE THE PEOPLES. THE ROLE OF UNITED NATIONS IN THE 21 CENTURY. UNITED NATIONS. NEW YORK.
- AREIZA MADRID, G. (2013). ITUANGO: EL MEGAPROYECTO HIDROELÉCTRICO Y SU INFLUENCIA EN LA POBLACIÓN, EL TERRITORIO Y EL MEDIO AMBIENTE. *DEBATES*, 78-84.

- ASOCIACIÓN DE PESCADORES DEL MAGDALENA MEDIO. CAPÍTULO: CUENCA DEL RIO SOGAMOSO-ASOPESAMM. (2015). PLAN ESTRATEGICO DE ACCIÓN. BARRANCABERMEJA, SANTANDER, COLOMBIA.
- AUQUILLA, ASTORGA Y JIMÉNEZ, R. (2006). *CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA (CATIE)*. RECUPERADO EL 22 DE JUNIO DE 2020, DE REPOSITORIO INSTITUCIONAL: [HTTP://201.207.189.89/HANDLE/11554/6408](http://201.207.189.89/HANDLE/11554/6408)
- AYELE, G., HAYICHO, H., Y ALEMU, M. (2019). LAND USE LAND COVER CHANGE DETECTION AND DEFORESTATION MODELING: IN DELOMENA DISTRICT OF BALE ZONE, ETHIOPIA. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL PROTECTION*, 10(04), 532-561. [HTTPS://DOI.ORG/10.4236/JEP.2019.104031](https://doi.org/10.4236/jep.2019.104031)
- AZCONA, M., MANZINI, F., Y DORATI, J. (2013). PRECISIONES METODOLÓGICAS SOBRE LA UNIDAD DE ANÁLISIS Y LA UNIDAD DE OBSERVACIÓN. APLICACIÓN A LA INVESTIGACIÓN EN PSICOLOGÍA. *MEMORIAS TOMO I. CUARTO CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE PSICOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA*, 67-76.
- BARRIGA, O., Y HENRÍQUEZ, G. (2011). LA RELACIÓN UNIDAD DE ANÁLISIS- UNIDAD DE OBSERVACIÓN- UNIDAD DE INFORMACIÓN: UNA AMPLIACIÓN DE LA NOCIÓN DE LA MATRIZ DE DATOS PROPUESTA POR SAMAJA. *REVISTA LATINOAMERICANA DE METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN SOCIAL: RELMIS*, 1, 61-69.
- BERKES, F., Y FOLKE, C. (1998). *VINCULAR LAS PRÁCTICAS DE GESTIÓN DE LOS SISTEMAS SOCIALES Y ECOLÓGICOS Y LOS MECANISMOS SOCIALES PARA FOMENTAR LA RESILIENCIA*. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, CAMBRIDGE, UK.
- BOCCO Y URQUIJO, G. (2013). GEOGRAFÍA AMBIENTAL: REFLEXIONES TEÓRICAS Y PRÁCTICAS INSTITUCIONAL. *REGIÓN Y SOCIEDAD*, 75-101.
- BOCCO, MENDOZA Y MASERA, G. (2001). *LA DINÁMICA DEL CAMBIO DEL USO DEL SUELO EN MICHOACÁN. UNA PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE DEFORESTACIÓN* (VOLS. INVESTIGACIONES GEOGRÁFICAS. BOLETIN NÚMERO 44 DEL INSTITUTO DE GEOGRAFÍA, UNAM. ). MÉXICO. D.F, MÉXICO.
- BOTEQUILHA-LEITÃO Y AHERN, A. (2002). APPLING LANDSCAPE ECOLOGICAL CONCEPTS AND METRICS IN SUSTAINABLE LANDSCAPE PLANNING. *LANDSCAPE AND URBAN PLANNING* 59 - ELSEVIER , 65-93. RECUPERADO EL 20 DE ENERO DE 2019, DE [HTTPS://WWW.RESEARCHGATE.NET/PUBLICATION/202094283\\_APPLING\\_LANDSCAPE\\_ECOLOGICAL\\_CONCEPTS\\_AND\\_METRICS\\_IN\\_SUSTAINABLE\\_LANDSCAPE\\_PLANNING](https://www.researchgate.net/publication/202094283_appling_landscAPE_ecoLOGICAL_conCEPTS_and_METRICS_in_sUSTAINABLE_LANDSCAPE_PLANNING)
- CALVENTE, A. (2007). EL CONCEPTO MODERNO DE SUSTENTABILIDAD. EN *UNIVERSIDAD ABIERTA INTERAMERICANA. CENTRO DE ALTOS ESTUDIOS*

- GLOBALES. SOCIOECOLOGÍA Y DESARROLLO SUSTENTABLE UAIS-SDS-100-002* (PP. 1-7). [HTTPS://DOI.ORG/UAIS-SDS-100-002](https://doi.org/UAIS-SDS-100-002)
- CASTÁN, Y. (2006). METODO CIENTIFICO Y SUS ETAPAS. *INSTITUTO ARAGONEZ DE CIENCIAS DE LA SALUD*, 2, 1-6.
- CASTAÑO GARRIDO, C., Y QUECEDO LECANDA, M. (2002). INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN CUALITATIVA. *REVISTA DE PSICODIDÁCTICA*, 14(14), 5-40.
- CASTAÑEDA ZULUAGA, L. (2013). DINÁMICAS ESPACIO-TEMPORALES DE LA COBERTURA DE LA TIERRA EN CUATRO HUMEDALES EN EL DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA: EL TÍBER, COLINDRES, SANDRANA Y EL ESTERO. *ENTORNO GEOGRÁFICO*(NO 9 ENERO). OBTENIDO DE [HTTPS://ENTORNOGEOGRAFICO.UNIVALLE.EDU.CO/INDEX.PHP/ENTORNOGEOGRAFICO/ARTICLE/VIEW/3636/5562](https://entornogeografico.univalle.edu.co/index.php/entornogeografico/article/view/3636/5562)
- CHAPARRO LÓPEZ, H. Y. (2017). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE CAMBIOS EN LA COBERTURA VEGETAL DE PAZ DE ARIPORO, CASANARE MEDIANTE EL USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA*. 156.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE SANTANDER-CAS. (2010, 2011 Y 2012). *FORMULACIÓN POMCA-RÍO SOGAMOSO. FASE DE DIAGNÓSTICO DOCUMENTO GENERAL VOL. I. CARACTERIZACIÓN BÁSICAS Y DEL SISTEMA FÍSICOBIOTICO*. BOGOTÁ. RECUPERADO EL 15 DE JUNIO DE 2018
- CORPORACION AUTONOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA-CDMB, (2018). *POMCA-SOGAMOSO.PDF* (P. 8). [HTTP://CAS.GOV.CO/INDEX.PHP/LACAS/GACETA-AMBIENTAL/SEND/19-RESOLUCION/6089-POMCA-RIO-SOGAMOSO.HTML](http://cas.gov.co/index.php/lacas/gaceta-ambiental/send/19-resolucion/6089-pomca-río-sogamoso.html)
- CORREA RESTREPO, F. (2005). VALORACIÓN ECONÓMICA DE ECOSISTEMAS ESTRÁTEGICOS ASOCIADOS A FUENTES HÍDRICAS QUE ABASTECEN ACUEDUCTOS VEREDALES. *SEMESTRE ECONÓMICO*, 29-48.
- COSTANZA, R., DE GROOT, R., SUTTON, P., VAN DER PLOEG, S., ANDERSON, S. J., KUBISZEWSKI, I., FARBER, S., Y TURNER, R. K. (2014). CHANGES IN THE GLOBAL VALUE OF ECOSYSTEM SERVICES. *GLOBAL ENVIRONMENTAL CHANGE*, 26(1), 152-158. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.GLOENVCHA.2014.04.002](https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002)
- COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., O'NEILL, R. V, PARUELO, J., RASKIN, R. G., SUTTON, P., Y VAN DEN BELT, M. (1997). THE VALUE OF THE WORLD'S ECOSYSTEM SERVICES AND NATURAL CAPITAL. *NATURE*, 387(6630), 253-260. [HTTPS://DOI.ORG/10.1038/387253A0](https://doi.org/10.1038/387253A0)
- CUELLO NIETO, C. (1995). EN TORNTO A LOS IMPACTOS ECONÓMICOS, SOCIALES Y AMBIENTALES DE LAS PRESAS HIDROELÉCTRICAS. . *CIENCIA Y SOCIEDAD. VOLUMEN XX, NÚMERO 3 Y 4.*, 333-347.
- DAMIÁN, D., MÁRQUEZ, C. O., GARCÍA, V. J., RODRÍGUEZ, M. V., Y RECALDE, C. G. (2018). TRANSICIONES SISTEMÁTICAS EN EL USO Y LA COBERTURA

- DEL SUELO EN UNA MICROCUENCA ALTO ANDINA , ECUADOR 1991-2011. *REVISTA ESPACIOS*, 39(32), 1-8.
- DER HAGOPIAN TLAPANCO, H. (2016). EXPERIMENTOS EN UNA CIENCIA NO EXPERIMENTAL. *INVESTIGACION ECONOMICA*, 75(295), 31-91. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.INVECO.2016.03.002](https://doi.org/10.1016/J.INVECO.2016.03.002)
- DÍAZ, MANUEL FUENZALIDA, COBS MUÑOZ, VICTOR. Y GUERRERO ESPINOZA, R. (2013). EL TERRITORIO COM UNIDAD DE ANÁLISIS EN ESTUDIOS SOBRE LAS DETERMINANTES SOCIALES DE LA SALUD. *ARGOS*, 30, 87-106.
- DÍAZ-PACHECO, JAIME Y HEWITT, R. (2013). MODELADO DE CAMBIOS DE USOS DE SUELO URBANO A TRAVÉS DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES . COMPARANDO DOS APLICACIONES DE SOFTWARE. *REVISTA INTERNACIONAL DE LA CIENCA Y TECNOLOGIA DE LA INFORMACIÓN GEORGRÁFICA*, 14(2009), 1-22.
- DE LUQUE, M. A., PÉREZ, Y. P., RODRÍGUEZ, Y. A., Y JIMÉNEZ RODRÍGUEZ, C. (2019). ANÁLISIS DEL PROCESO DE FRAGMENTACIÓN DE BOSQUES: METODOLOGÍAS ORIENTADAS EN EL USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y MÉTRICAS DEL PAISAJE. *CIENCIAS AGROPECUARIAS*, 5(1), 32-41. [HTTPS://DOI.ORG/10.36436/24223484.193](https://doi.org/10.36436/24223484.193)
- DE GROOT, R. (2006). FUNCTION-ANALYSIS AND VALUATION AS A TOOL TO ASSESS LAND USE CONFLICTS IN PLANNING FOR SUSTAINABLE, MULTI-FUNCTIONAL LANDSCAPES. *LANDSCAPE AND URBAN PLANNING*, 75(3-4), 175-186. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.LANDURBPLAN.2005.02.016](https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2005.02.016)
- DE GROOT, R., BRANDER, L., VAN DER PLOEG, S., COSTANZA, R., BERNARD, F., BRAAT, L., CHRISTIE, M., CROSSMAN, N., GHERMANDI, A., HEIN, L., HUSSAIN, S., KUMAR, P., MCVITTIE, A., PORTELA, R., RODRIGUEZ, L. C., TEN BRINK, P., Y VAN BEUKERING, P. (2012). GLOBAL ESTIMATES OF THE VALUE OF ECOSYSTEMS AND THEIR SERVICES IN MONETARY UNITS. *ECOSYSTEM SERVICES*, 1(1), 50-61. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.ECOSER.2012.07.005](https://doi.org/10.1016/J.ECOSER.2012.07.005)
- DE GROOT, R. S., ALKEMADE, R., BRAAT, L., HEIN, L., Y WILLEMEN, L. (2010). CHALLENGES IN INTEGRATING THE CONCEPT OF ECOSYSTEM SERVICES AND VALUES IN LANDSCAPE PLANNING, MANAGEMENT AND DECISION MAKING. *ECOLOGICAL COMPLEXITY*, 7(3), 260-272. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.ECOCOM.2009.10.006](https://doi.org/10.1016/J.ECOCOM.2009.10.006)
- DOUROJEANNI, M. (2009). HIDROELÉCTRICAS EN LA AMAZONÍA PERUANA. *LA REVISTA AGRARIA*, 4-6. RECUPERADO EL 24 DE SEPTIEMBRE DE 2017, DE [HTTP://WWW.CEPES.ORG.PE/REVISTA/R-AGRA109/LRA109-04-06.PDF](http://www.cepes.org.pe/revista/r-agra109/lra109-04-06.pdf)
- DUQUE, H., Y DÍAZ-GRANADOS, E. T. A. (2019). ANÁLISIS FENOMENOLÓGICO INTERPRETATIVO. UNA GUÍA USO EN LA INVESTIGACIÓN CUALITATIVA EN PSICOLOGÍA. *PENSANDO PSICOLOGÍA*, 15(25), 1-24. [HTTPS://WWW.REDALYC.ORG/PDF/1341/134129257004.PDF](https://www.redalyc.org/pdf/1341/134129257004.pdf)

- ESPINOZA-MENDOZA, V. E. (2016). *DINAMICA EGO: UNA HERRAMIENTA GRATUITA PARA MODELAR Y BRINDAR SOPORTE EN EL ANÁLISIS DE CCUS*. JANUARY, 1-20.
- ESPINOZA-MENDOZA, V. (2017). *DINAMICA EGO: UNA HERRAMIENTA GRATUITA PARA MODELAR Y BRINDAR*. *COLEGIO DE GEÓGRAFOS DEL PERÚ*, JANUARY, 1-20.
- FAJARDO, D., NARANJO, L., Y NIÑO, I. (2012). *MANEJO INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS A TRAVÉS DEL USO DE AGROFORESTERÍA SUSTENTABLE EN LA AMAZONIA COLOMBIANA* (CORPOAMAZONIA Y WWF-COLOMBIA (ED.)). FILE:///C:/USERS/BLANCO/DOWNLOADS/MIG\_PUTUMAYO\_2015\_WEB\_CO RREGIDO\_SEPT\_2015.PDF
- FLORES FLORES, G. (2014). EVALUACIÓN DEL IMPACTO SOCIAL EN GRANDES PRESAS: CASO INAMBARI. *INVESTIG*, 115-128. RECUPERADO EL 12 DE OCTUBRE DE 2017, DE [HTTP://EPG.UNAP.EDU.PE/EPGRD/INVESTIGACION/REVISTAS/2009/9.PDF](http://EPG.UNAP.EDU.PE/EPGRD/INVESTIGACION/REVISTAS/2009/9.PDF)
- GEIST, H. J., Y LAMBIN, E. F. (2002). PROXIMATE CAUSES AND UNDERLYING DRIVING FORCES OF TROPICAL DEFORESTATION. *BIOSCIENCE*, 52(2), 143-150. [HTTPS://DOI.ORG/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0143:PCAUDF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0143:PCAUDF]2.0.CO;2)
- GIL, P. (25 DE MARZO DE 2017). TRABAJO PROSPECTIVO EXPLORATORIO "PARE BAJA DEL RIO SOGAMOSO". (PEÑUELA LIZCANO, J. D. ENTREVISTADOR)
- GÓMEZ ASTORGA, M. J. (2020). *EFEECTO HIDROLÓGICO DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO PEJIBAYE, CARTAGO, COSTA RICA* [INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA, ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA]. [HTTPS://REPOSITORIOTECHNOLÓGICO.TEC.AC.CR/BITSTREAM/HANDLE/2238/11547/TFG\\_MARÍA JOSÉ GÓMEZ ASTORGA.PDF?SEQUENCE=1&ISALLOWED=Y](https://repositorio.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11547/TFG_MARÍA JOSÉ GÓMEZ ASTORGA.PDF?sequence=1&isAllowed=Y)
- GÓMEZ-BAGGETHUN, E., Y DE GROOT, R. (2007). CAPITAL NATURAL Y FUNCIONES DE LOS ECOSISTEMAS: EXPLORANDO LAS BASES ECOLÓGICAS DE LA ECONOMÍA. *ECOSISTEMAS*, 16(3), 4-14. [HTTPS://DOI.ORG/10.7818/RE.2014.16-3.00](https://doi.org/10.7818/RE.2014.16-3.00)
- GONZÁLES VALENCIA, A. (2019). APROXIMACIÓN AL CONCEPTO DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y SU EVOLUCIÓN A TRAVÉS DEL TIEMPO. *ÉOLO-REVISTA AMBIENTAL*( VOL. 18 NÚM. ), 129-138. OBTENIDO DE [HTTP://REVISTAEOLO.FCONVIDA.ORG/INDEX.PHP/EOLO/ARTICLE/VIEW/13](http://revistaeolo.fconvida.org/index.php/eolo/article/view/13)
- GORDILLO-RUIZ Y CASTILLO SANTIAGO, M. (2017). CAMBIO DE USO DEL SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO SABINAL, CHIAPAS, MÉXICO. *ECOSISTEMAS Y RECURSOS AGROPECUARIOS*, 39-49.
- GUERRERO, O. F. V. (2019). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL PARA DETERMINAR LOS CAMBIOS EN LA COBERTURA VEGETAL Y EN EL CAUCE PRINCIPAL DEL RÍO*

- CAUCA PRODUCIDO POR EL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO, EN LOS AÑOS 2009 Y 2019, EMPLEANDO IMÁGENES SATELITALES. *ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA* 1. 1-18. [HTTPS://REPOSITORY.UNIMILITAR.EDU.CO/HANDLE/10654/32062](https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/32062)
- GUERRERO, M. A. (2016). LA INVESTIGACIÓN CUALITATIVA. *INNOVA RESEARCH JOURNAL*, 1(2), 1-9. [HTTP://REVISTAS.UIDE.EDU.EC/INDEX.PHP/INNOVA/ARTICLE/VIEW/7](http://revistas.uide.edu.ec/index.php/innova/article/view/7)
- GUSTAFSON, E. J. (1998). QUANTIFYING LANDSCAPE SPATIAL PATTERN: WHAT IS THE STATE OF THE ART? *ECOSYSTEMS*, 143-156. [HTTPS://WWW.NRS.FS.FED.US/PUBS/JRNL/1998/NC\\_1998\\_GUSTAFSON\\_001.PDF](https://www.nrs.fs.fed.us/pubs/jrnl/1998/nc_1998_gustafson_001.pdf)
- HAINES-YOUNG Y POTSCHIN, R. (2013). *COMMON INTERNATIONAL CLASSIFICATION OF ECOSYSTEM SERVICES (CICES): CONSULTATION ON VERSION 4, AUGUST-DECEMBER 2012*. NOTTINGHAM: UNIVERSITY OF NOTTINGHAM. RECUPERADO EL 29 DE AGOSTO DE 2020, DE [HTTPS://CICES.EU/CONTENT/UPLOADS/SITES/8/2012/07/CICES-V43\\_REVISIED-FINAL\\_REPORT\\_29012013.PDF](https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2012/07/CICES-V43_REVISIED-FINAL_REPORT_29012013.PDF)
- HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, R. M., MORROS MARÍA, E., BRAVO, C., LOZANO, Z., HERRERA, P., OJEDA, A., MORALES, J., Y BIRBE, B. (2011). LA INTEGRACIÓN DEL CONOCIMIENTO LOCAL Y CIENTÍFICO EN EL MANEJO SOSTENIBLE DE SUELOS EN AGROECOSISTEMAS DE SABANAS. *INTERCIENCIA*, 36(2), 104-112.
- HENRIQUES OVELHEIRO, M. (2018). *ESTUDO DA EVOLUÇÃO ESPÁCIO-TEMPORAL DO MUNICÍPIO DE AVIS EM RELAÇÃO Á ESTRUTURA DA PAISAGEM COM RECURSO A SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA*. RECUPERADO EL 18 DE MARZO DE 2019, DE RUN REPOSITÓRIO UNIVERSIDADE NOVA.: [HTTPS://RUN.UNL.PT/HANDLE/10362/60962](https://run.unl.pt/handle/10362/60962)
- HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., FERNANDEZ COLLADO, C., Y BAPTISTA LUCIO, M. DEL P. (2014). METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION CIENTIFICA. EN *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*. [HTTP://WWW.CASADELLIBRO.COM/LIBRO-METODOLOGIA-DE-LA-INVESTIGACION-5-ED-INCLUYE-CD-ROM/9786071502919/1960006](http://www.casadellibro.com/libro-metodologia-de-la-investigacion-5-ed-incluye-cd-rom/9786071502919/1960006)
- IBÁÑEZ, J. (12 DE FEBRERO DE 2009). *ECOLOGÍA DEL PAISAJE Y LAS MÉTRICAS PARA SU CUANTIFICACIÓN*. RECUPERADO EL 5 DE MARZO DE 2019, DE [HTTPS://WWW.MADRIMASD.ORG/BLOGS/UNIVERSO/2009/02/12/112749](https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2009/02/12/112749)
- IBÁÑEZ GIMÉNEZ, R. (2016). *CONTRIBUCIÓN DE LAS FRANJAS DE BOSQUE A LA CONECTIVIDAD FÍSICA DEL PAISAJE EN UNA MATRIZ AGROPECUARIA - CHACO CENTRAL*.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, C. (2015). ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA PARA COLOMBIA 2011-2100 HERRAMIENTAS CIENTÍFICAS PARA LA TOMA DE DECISIONES – ESTUDIO

TÉCNICO COMPLETO : TERCERA COMUNICACIÓN NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO. EN *REVISTA MEXICANA DE CIENCIAS FORESTALES* (VOL. 6, NÚMERO 31).

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES IDEAM. (2015). *NUEVOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA COLOMBIA 2011-2100*. . RECUPERADO EL 05 DE MAYO DE 2018, DE TERCERA COMUNICACIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO.: [HTTP://DOCUMENTACION.IDEAM.GOV.CO/OPENBIBLIO/BVIRTUAL/022964/DOCUMENTO\\_NACIONAL\\_DEPARTAMENTAL.PDF](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022964/documento_nacional_departamental.pdf)

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES-IDEAM E INSTITUTO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS ALEXANDER VON HUMBOLDT-IAVH. (2014). *INFORME FINAL COMPONENTE COBERTURAS DE LA TIERRA EN LOS PÁRAMOS PRIORIZADOS A ESCALA 1:25.000 (METODOLOGÍA CORINE LAND COVER ADAPTADA PARA COLOMBIA)* (VOL. 000, NÚMERO 13, PP. 0-167). [HTTP://REPOSITORY.HUMBOLDT.ORG.CO/BITSTREAM/HANDLE/20.500.11761/9580/13-13-014-093CE.PDF?SEQUENCE=1&ISALLOWED=Y](http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/9580/13-13-014-093CE.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES-IDEAM. (2013). *ZONIFICACIÓN Y CODIFICACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS IDEAM*. [HTTP://DOCUMENTACION.IDEAM.GOV.CO/OPENBIBLIO/BVIRTUAL/022655/MEMORIASMAPAZONIFICACIONHIDROGRAFICA.PDF](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022655/memoriasmapazonificacionhidrografica.pdf)

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM. (2010). LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA. METODOLOGÍA CORINE LAND COVER ADAPTADA PARA COLOMBIA, ESCALA 1:100.000. EN *AREA: VOL. TH-62-04-1* (NÚMERO 257).

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES-IDEAM, I. G. A. C. Y C. A. R. DEL RÍO G. DE L. M. (2008). *MAPA DE COBERTURA DE LA TIERRA. CUENCA MAGDALENA-CAUCA: METODOLOGÍA CORINE LAND COVER ADAPTADA PARA COLOMBIA A ESCALA 1:100.000*.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN CODAZZI-IGAC. (2017). *INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES DE SENSORES REMOTOS APLICADA A LEVANTAMIENTOS DE COBERTURA DE LA TIERRA*. RECUPERADO EL 15 DE FEBRERO DE 2020, DE [HTTP://IGACNET2.IGAC.GOV.CO/INTRANET/USERFILES/FILE/PROCEDIMIENTOS/PROCEDIMIENTOS%202008/2017/M40700-03-17%20V1%20INTERPRETACION%20DE%20IMAGENES%20DE%20SENSORES%20REMOTOS%20APLICADA%20A%20LEVANTAMIENTOS%20DE%20COBERTURA%20DE%20LA%20TIERRA.PDF](http://igacnet2.igac.gov.co/intranet/userfiles/file/procedimientos/procedimientos%202008/2017/M40700-03-17%20V1%20INTERPRETACION%20DE%20IMAGENES%20DE%20SENSORES%20REMOTOS%20APLICADA%20A%20LEVANTAMIENTOS%20DE%20COBERTURA%20DE%20LA%20TIERRA.PDF)

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN CODAZZI. (4 DE ABRIL DE 2020). *PORTAL DE DATOS ABIERTOS AGROLOGÍA*. OBTENIDO DE MAPAS DE CLASIFICACIÓN DE LAS TIERRAS POR SU VOCACIÓN DE USO A ESCALA 1:100.000:

- [HTTPS://GEOPORTAL.IGAC.GOV.CO/CONTENIDO/DATOS-ABIERTOS-AGROLOGIA](https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia)
- ISAGEN-FUNDACIÓN NATURA. CONVENIO 47-337. (2016). *PROGRAMA DE MONITOREO MICRO-CLIMÁTICO, BOLETIN DE AVANCES-ABRIL*. BOGOTÁ: CANAL UNO.
- JIMÉNEZ-LÓPEZ, A. F., JIMÉNEZ-LÓPEZ, F. R., Y JIMÉNEZ-LÓPEZ, M. (2015). MULTISPECTRAL ANALYSIS OF VEGETATION FOR REMOTE SENSING APPLICATIONS ANÁLISIS MULTIESPECTRAL DE LA VEGETACIÓN PARA APLICACIONES DE SENSADO REMOTO. *ITECKNE*, 12(2), 156-167.
- LAMPREA AVELLANEDA, F. A. (2017). *ZONIFICACIÓN DE LAS COBERTURAS DE LA TIERRA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS SIG PARA LA REVISIÓN Y AJUSTE DEL P.O.T EN EL MARCO DEL CRECIMIENTO URBANO Y LA CONURBACIÓN NORTE; CASO MUNICIPIO DE ZIPAQUIRÁ*. BOGOTÁ D.C: CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN INFORMACIÓN GEOGRÁFICA-CIAF. RECUPERADO EL 20 DE NOVIEMBRE DE 2018, DE [HTTPS://CIAF.IGAC.GOV.CO/SITES/CIAF.IGAC.GOV.CO/FILES/FILES\\_CIAF/LAMPREA-AVELLANEA-FERDY.PDF](https://ciaf.igac.gov.co/sites/ciaf.igac.gov.co/files/files_ciaf/lamprea-avellanea-ferdy.pdf)
- LÓPEZ ALEGRÍA, A. (2017). *MODELACIÓN DE LA VEGETACIÓN Y CAMBIO DE USO DE SUELO 2005 AL 2025, EN LA MICROCUENCA LA UNIÓN EN EL MUNICIPIO DE CHIAPA DE CORZO, CHIAPAS*. RECUPERADO EL 5 DE ABRIL DE 2020, DE [HTTPS://REPOSITORIO.UNICACH.MX/HANDLE/20.500.12114/1330](https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12114/1330)
- LÓPEZ ALEGRÍA, A., JOSÉ RÍOS, M., FLAMENCO SANDOVAL, A., Y FARFÁN GUTIÉRREZ, M. (2018). ANÁLISIS Y MODELACIÓN ESPACIAL DE LOS PATRONES DE DEFORESTACIÓN (2005-2025) EN LA MICROCUENCA LA UNIÓN DEL MUNICIPIO DE CHIAPA DE CORZO, CHIAPAS. *SOCIEDAD Y AMBIENTE*, 18, 117-143. [HTTPS://DOI.ORG/10.31840/SYA.V0I18.1878](https://doi.org/10.31840/sya.v0i18.1878)
- LÓPEZ CASTRO, MARIO ORLANDO Y PEÑA BOHÓRQUEZ, V. (2013). *HOJA METODOLÓGICA DEL INDICADOR TASA ANUAL DE CAMBIO DE LA SUPERFICIE CUBIERTA POR DIFERENTES COBERTURAS (VERSIÓN 1,00). SISTEMA DE INDICADORES AMBIENTALES DE COLOMBIA. COLOMBIA: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM. P. 9.*
- LOPEZ-PUJOL, J. (2008). IMPACTOS SOBRE LA BIODIVERSIDAD DEL EMBALSE DE LAS TRES GARGANTAS EN CHINA. *ECOSISTEMAS*, 17(1), 134-145. [HTTPS://DOI.ORG/10.7818/RE.2014.17-1.00](https://doi.org/10.7818/re.2014.17-1.00)
- MAZA VÁZQUEZ, F. (2010). TÉCNICAS CARTOGRÁFICAS PARA LA ORDENACIÓN DEL TERRITORIO Y SU DESARROLLO URBANÍSTICO. APLICACIÓN EN LA PLANIFICACIÓN DE GUADALAJARA-ESPAÑA Y TEGUCIGALPA-HONDURAS. *REVISTA GEOGRÁFICA DE AMÉRICA CENTRAL*, 1(44 E), 61-99.
- MATTEUCCI, S. D. Y SILVA, M. (2005). SELECCIÓN DE MÉTRICAS DE

- CONFIGURACIÓN ESPACIAL PARA LA REGIONALIZACIÓN DE UN TERRITORIO ANTROPIZADO. *REVISTA BRASILEIRA DE MEDICINA DO ESPORTE*, 12(1), 1-13.  
[HTTPS://DOI.ORG/10.1080/17461391.2020.1733672](https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1733672)%0AHTTP://WWW.EFDEPORTES.COM/EFD48/TREIN2.HTM%0AHTTP://SEER.UFTM.EDU.BR/REVISTAELETRONICA/INDEX.PHP/ACES%0AHTTP://WWW.TANDFONLINE.COM/DOI/ABS/10.1080/02701367.2004.10609174%5CNHTTP://INSIGHTS.OVID.COM/CROSSREF?
- MARTÍN LÓPEZ, GÓMEZ-BAGGETHUN Y MONTES, B. (2009). UN MARCO CONCEPTUAL PARA LA GESTIÓN DE LAS INTERACCIONES NATURALEZA-SOCIEDAD. *CUADERNO INTERDISCIPLINAR DE DESARROLLO SOSTENIBLE*, 229-258.
- MARTÍNEZ VALDÉS Y VILLALEJO GARCÍA, Y. (2018). LA GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS: UNA NECESIDAD DE ESTOS TIEMPOS. *REVISTA CIENTÍFICA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*, 58-72.
- MARTÍNEZ VALLE, L. (2012). APUNTES PARA PENSAR EL TERRITORIO DESDE UNA DIMENSIÓN SOCIAL. *CIÊNCIAS SOCIAIS UNISINOS, SÃO LEOPOLDO, VOL. 48, N. 1.*, 12-18. RECUPERADO EL 12 DE OCTUBRE DE 2017, DE [HTTP://WWW.REDALYC.ORG/PDF/938/93823702003.PDF](http://www.redalyc.org/pdf/938/93823702003.pdf)
- MAS Y FLAMENCO SANDOVAL, J.-F. (2011). MODELACIÓN DE LOS CAMBIOS DE COBERTURA/USO DEL SUELO EN UNA REGIÓN TROPICAL DE MÉXICO. *GEOTRÓPICO*, 1-23.
- MASSIRIS CABEZAS, Á. (2012). *GESTIÓN TERRITORIAL Y DESARROLLO. HACIA UNA POLITICA DE DESARROLLO TERRITORIAL SOSTENIBLE EN AMÉRICA LATINA*. TUNJA: GRUPO IMPRENTA Y PUBLICACIONES.
- MCGARIGAL, K., Y MARKS, B. (1995). *MÉTRICAS FRAGSTATS*. UNIVERSITY OF MASSACHUSETTS AMHERST. [HTTP://WWW.UMASS.EDU/LANDECO/RESEARCH/FRAGSTATS/DOCUMENTS/METRICS/METRICS TOC.HTM](http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/documents/metrics/metrics_toc.htm)
- MEIYAN, J., LIANCHUN, S., JUN, W., YIMING, K., CUNJIE, Z., TIANJUN, Z., YING, X., Y TONG, J. (2013). *CÓMO AFRONTAR LOS POSIBLES EFECTOS CLIMÁTICOS DEL PROYECTO DE LAS TRES GARGANTAS EN CHINA*. 49-53.
- MENDOZA MORA, MI. Á., RUIZ, J., Y CHAPARRO TORRES, F. A. (2017). DINÁMICA DE LAS MÉTRICAS DEL PAISAJE, DEFORESTACIÓN Y SUCESIÓN EN EL BOSQUE SECO TROPICAL EN LA ISLA DE PROVIDENCIA, COLOMBIA ENTRE 2005 Y 2009. *JOURNAL OF CHEMICAL INFORMATION AND MODELING*, 110(9), 1689-1699.
- MEZA MENARES, R. E. (2017). CAMBIO EN LAS COBERTURAS DE SUELO Y SU IMPACTO SOBRE LAS FUNCIONES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE CONCEPCIÓN, PERIODO 1986-2015. *UNIVERSIDAD DE CHILE FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO*

*MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓGRAFO.*

- MONTES, C., Y SALA, O. (2007). LA EVALUACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS DEL MILENIO . LAS RELACIONES ENTRE EL BIENESTAR HUMANO. *ECOSISTEMAS*, 16(3), 137-147.
- MOIZO MARRUBIO, P. (2004). LA PERCEPCIÓN REMOTA Y LA TECNOLOGÍA SIG: UNA APLICACIÓN EN ECOLOGÍA DE PAISAJE. *GEOFOCUS: REVISTA INTERNACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA*, 4, 10.
- MUÑOZ, D., RODRIGUEZ, M., Y ROMERO, M. (2012). ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE CAMBIOS DE USO DEL SUELO Y COBERTURAS, EN LA MICROCUENCA LAS MINAS, CORREGIMIENTO DE LA LAGUNA, MUNICIPIO DE PASTO, DEPARTAMENTO DE NARIÑO. *REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS*, 26(1), 11-24.  
[HTTP://REVISTAS.UDENAR.EDU.CO/INDEX.PHP/RFACIA/ARTICLE/VIEW/54#.WEMOVI12LPK.MENDELEY](http://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/54#.WEMOVI12LPK.MENDELEY)
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. (2004). *EVALUACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS DEL MILENIO. INFORME DE SÍNTESIS*. WORLD FISH CENTER, MALAYSIA: NATIONAL INSTITUTE OF PUBLIC HEALTH AND THE ENVIRONMENT, NETHERLANDS.
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. (2018). *DECRETO 1007 DE 2018 REGLAMENTACIÓN PAGOS POR SERVICIOS AMBIENTALES. 1007*, 1-13.  
[HTTP://ES.PRESIDENCIA.GOV.CO/NORMATIVA/NORMATIVA/DECRETO 1007 DEL 14 DE JUNIO DE 2018.PDF](http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/decreto-1007-del-14-de-junio-de-2018.pdf)
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. DIRECCIÓN DE GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO. (2017). *GUÍA METODOLÓGICA PARA LA FORMULACIÓN DE LOS PLANES DE MANEJO AMBIENTAL DE MICROCUENCAS-PMAN*. BOGOTÁ.
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. (2016). *PLAN INTEGRAL DE GESTIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO TERRITORIAL DEL SANTANDER 2030*. 220.  
[HTTP://WWW.MINAMBIENTE.GOV.CO/IMAGES/CAMBIOCлимATICO/PDF /APROXIMACION\\_\\_AL\\_TERRITORIO/SANTANDER\\_PAG.PDF](http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/aproximacion_al_territorio/santander_pag.pdf)
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. (2012). *DECRETO NÚMERO 1640 DEL 2 DE AGOSTO DEL 2012* (P. 28).
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO. (2014). *GUÍA TÉCNICA PARA LA FORMULACIÓN DE LOS POMCAS*. 104.
- MONTERROSO, M. (2013). GUIA PRACTICA: CLASIFICACIÓN DE IMAGENES SATELITALES. *SOFTWARE*, 31.
- MORENO LINARES, H. E. (2015). *DINÁMICAS DE OCUPACIÓN Y NUEVOS USOS TERRITORIALES DEL SUELO RURAL EN EL MUNICIPIO DE TENJO (CUNDINAMARCA) EN EL PERIODO 1993 – 2013*. BOGOTÁ D.C.

- NÁJERA G., BOJÓRQUEZ S., CIFUENTES L., Y MARCELEÑO, O. (2010). CAMBIO DE COBERTURA Y USO DEL SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO MOLOLOA, NAYARIT. *BIOCIENCIAS*, 1 NÚM. 1, 19-29.
- ORGANIZACIÓN DE NACIONES UNIDAS ONU. (2015). *OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE. 17 OBJETIVOS PARA TRANSFORMAR NUESTRO MUNDO*. [HTTPS://WWW.UN.ORG/SUSTAINABLEDEVELOPMENT/ES/](https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/)
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS-ONU. (1992). *DEPARTAMENTO DE ASUNTOS ECONMICOS Y SOCIALES. DIVISIÓN DE DESARROLLO SOSTENIBLE*. OBTENIDO DE PROGRAMA 21: CAPÍTULO 18: [HTTPS://WWW.UN.ORG/SPANISH/ESA/SUSTDEV/AGENDA21/AGENDA21S PCHAPTER18.HTM](https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21schapter18.htm)
- OSORIO, MAS, GUERRA Y MAASS, L. P. (2015). ANÁLISIS Y MODELACIÓN DE LOS PROCESOS DE DEFORESTACIÓN: UN CASO DE ESTUDIO EN LA CUENCA DEL RÍO COYUQUILLA. *INVESTIGACIONES GEOGRÁFICAS, BOLETÍN DEL INSTITUTO DE GEOGRAFÍA, UNAM*. NÚM. 88., 60-74.
- PADILLA, O., PÉREZ, P., CRUZ, M., HUILCAMAIGUA, S., Y ASTUDILLO, S. (2015). UTILIZACIÓN DE AUTÓMATAS CELULARES COMO TÉCNICA DE MODELAMIENTO ESPACIAL PARA DETERMINACIÓN EL CAMBIO DE USO DE SUELO Y COBERTURA VEGETAL. *CIENCIAS ESPACIALES*, 8(1), 310-326. [HTTPS://DOI.ORG/10.5377/CE.V8I1.2055](https://doi.org/10.5377/ce.v8i1.2055)
- PACHECO, J. D. (2015). *CIUDADES , AUTÓMATAS CELULARES Y SISTEMAS COMPLEJOS: EVALUACIÓN DE UN MODELO DINÁMICO DE CAMBIO DE USOS DE SUELO URBANO EN MADRID*. 1-265.
- PAEGELOW, M., OLMEDO, M. C., PAEGELOW, M., CAMACHO, M., & MODELOS, O. (2014). *MODELOS DE SIMULACION ESPACIO-TEMPORAL Y TELEDETECCION: EL M ' ETODO DE LA SEGMENTACION PARA LA CARTOGRAFIA CRONOLOGICA DE USOS DEL SUELO TO CITE THIS VERSION :*
- PÁEZ LUGO, E. A. (2018). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL , PROCESO DE ZONIFICACION Y REGIMEN DE USOS DE LOS COMPLEJOS DE PARAMOS DELIMITADOS A ESCALA 1:25.000 EN LA JURISDICCION CAR*.
- PEÑALOZA MIRANDA, I. (2020). REVISTA AMBIENTAL ANALISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE COBERTURA VEGETAL DE LA MICROCUENCA EL VOLCÁN A PARTIR DE LA COMPRA DE ÁREAS ESTRATÉGICAS. MULTITEMPORAL ANALYSIS OF THE CHANGE OF VEGETATION COVERAGE OF THE VOLCAN MICROBASIN FROM THE PURCHASE OF STR. *REVISTA AMBIENTAL AGUA, AIRE Y SUELO*, 11(1), 1-10. [HTTP://WWW.UNIPAMPLONA.EDU.CO/](http://www.unipamplona.edu.co/)
- PÉREZ M, CRUZ B, MORENO S, GONZÁLES H Y ROMERO S., R. (2012). CAMBIOS DE VEGETACIÓN Y USO DE SUELO EN A CUENCA RÍO BRAVO-SAN JUAN, COAHUILA. *REVISTA MEXICANA DE CIENCIAS FORESTALES*, 25-40. RECUPERADO EL 27 DE AGOSTO DE 2019, DE

- [HTTPS://WWW.REDALYC.ORG/ARTICULO.OA?ID=63438967003](https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63438967003)
- PEERSMAN, G. (2014). SINOPSIS: MÉTODOS DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS EN LA EVALUACIÓN DE IMPACTO. *SÍNTESIS METODOLÓGICA*, 10, 1-19. [HTTPS://WWW.UNICEF-IRC.ORG/PUBLICATIONS/PDF/BRIEF\\_10\\_DATA\\_COLLECTION\\_ANALYSIS\\_SPA.PDF](https://www.unicef-irc.org/publications/pdf/brief_10_data_collection_analysis_spa.pdf)
- PINEDA PASTRANA, O. (2011). *ANÁLISIS DE CAMBIO DE USO DE SUELO MEDIANTE PERCEPCIÓN REMOTA EN EL MUNICIPIO DE VALLE DE SANTIAGO*. MÉXICO, D.F: CENTROGEO. RECUPERADO EL 20 DE JUNIO DE 2018, [HTTPS://CENTROGEO.REPOSITORIOINSTITUCIONAL.MX/JSPUI/BITSTREAM/1012/41/1/21-2011-TESIS-PINEDA%20PASTRANA%2C%20OLIVA-MAESTRA%20EN%20GEOM%C3%A1TICA.PDF](https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/41/1/21-2011-tesis-pineda%20pastrana%2c%20oliva-maestra%20en%20geom%c3%a1tica.pdf)
- PINOS-ARÉVALO, N. (2016). PROSPECTIVE LAND USE AND VEGETATION COVER ON LAND MANAGEMENT - CASE CANTON CUENCA. *ESTOA*, 5(9), 7-19. [HTTPS://DOI.ORG/10.18537/EST.V005.N009.02](https://doi.org/10.18537/est.v005.n009.02)
- RÁMIREZ CANO, C. M. (2016). VALORACIÓN ECOSISTÉMICA A PARTIR DEL USO DE MÉTRICAS DE PAISAJE APLICANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN CULTIVOS DE PALMA AFRICANA. *REVISTA DE INVESTIGACIÓN AGRARIA Y AMBIENTAL*, 2, 129-143.
- RAMÍREZ ZAPATA, A. (2015). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS DE COBERTURA DE LA TIERRA PARA EL PERIODO DE TIEMPO 1999 - 2011 EN EL MUNICIPIO DE SAN JACINTO, BOLÍVAR*. 20. [HTTPS://REPOSITORY.UNIMILITAR.EDU.CO/BITSTREAM/HANDLE/10654/6318/AN%E1LISIS MULTITEMPORAL SAN JACINTO 1999-2011.PDF;JSESSIONID=030AEF54C74F1AAD063386EF31EF9F6E?SEQUENCE=3](https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/6318/AN%E1LISIS_MULTITEMPORAL_SAN_JACINTO_1999-2011.pdf;jsessionid=030AEF54C74F1AAD063386EF31EF9F6E?sequence=3)
- RED POR LA JUSTICIA AMBIENTAL EN COLOMBIA. (2014). *ACCION POPULAR*. RECUPERADO EL 3 DE NOVIEMBRE DE 2017, DE ADMITIDA ACCIÓN POPULAR CONTRA ISAGEN Y ANLA POR DAÑOS AMBIENTALES Y SOCIALES EN HIDROSOGAMOSO.: [HTTPS://JUSTICIAAMBIENTALCOLOMBIA.ORG/2014/10/14/ACCION-POPULAR-ISAGEN-ANLA-POR-HIDROSOGAMOSO/](https://justiciaambientalcolombia.org/2014/10/14/accion-popular-isagen-anla-por-hidrosogamoso/)
- REKACEWICZ, P. (2003). *STRATEGIC PLAN FOR THE U.S. CLIMATE CHANGE SCIENCE PROGRAM*. WIKIMEDIA COMMONS. [HTTPS://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/W/INDEX.PHP?CURID=6667345](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6667345)
- RIPKA DE ALMEIDA, A., LUIZ DA SILVA, C., Y HERNÁNDEZ SANTOYO, A. (2018). MÉTODOS DE VALORACIÓN ECONÓMICA AMBIENTAL: INSTRUMENTOS PARA EL DESARROLLO DE POLÍTICAS AMBIENTALES. 2018, 246-255. [HTTP://RUS.UCF.EDU.CU/INDEX.PHP/RUS](http://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus)
- RODRÍGUEZ, N., PABÓN, J. D., BERNAL, N. R., Y MARTÍNEZ, J. (2010). CAMBIO

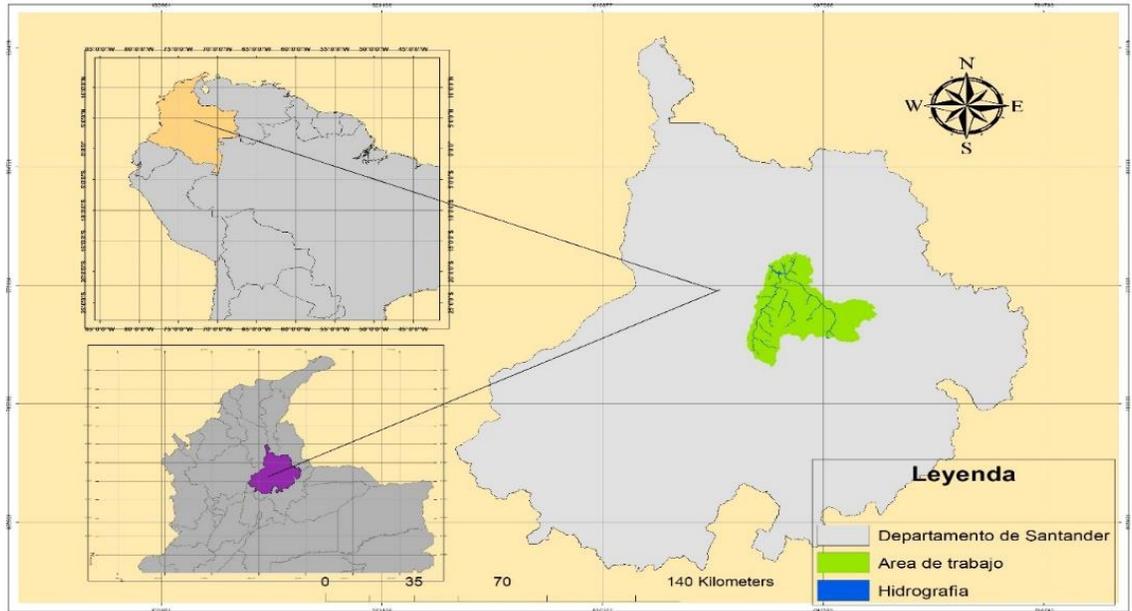
- CLIMATICO Y SU RELACION CON EL USO DEL SUELO EN LOS ANDES COLOMBIANOS. EN *MTNFORUM.ORG*.  
[HTTP://WWW.MTNFORUM.ORG/SITES/DEFAULT/FILES/PUBLICATION/FILES/PUBLICATION/FILE S/CAMBIO%7B\\_%7DCLIMATICO%7B\\_%7DUOSO%7B\\_%7DSUELO%7B\\_%7DANDES%7B\\_%7DCOLOMBIANOS.PDF](http://www.mtnforum.org/sites/default/files/publication/files/publication/file_s/cambio%7B_%7DCLIMATICO%7B_%7DUOSO%7B_%7DSUELO%7B_%7DANDES%7B_%7DCOLOMBIANOS.PDF)
- RODRÍGUEZ, J., Y PEÑA, V. (2013). ANÁLISIS DE DINÁMICAS DE CAMBIO DE LAS COBERTURAS DE LA TIERRA EN COLOMBIA, ESCALA 1:100.000 PERIODOS 2000-2002 Y 2005-2009. EN *INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM)*.  
[HTTPS://DOI.ORG/HTTP://DOCUMENTACION.IDEAM.GOV.CO/OPENBIBLIO/BVIRTUAL/023677/ANALISISDINAMICAS.PDF](https://doi.org/http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023677/analisisdinamicas.pdf)
- RODRÍGUEZ VÁSQUEZ, A. F. (2011). METODOLOGÍA PARA DETECTAR CAMBIOS EN EL USO DE LA TIERRA UTILIZANDO LOS PRINCIPIOS DE LA CLASIFICACIÓN ORIENTADA A OBJETOS, ESTUDIO DE CASO PIEDEMONTE DE VILLAVICENCIO, META. BOGOTÁ D.C. RECUPERADO EL 21 DE NOVIEMBRE DE 2018, DE [HTTP://BDIGITAL.UNAL.EDU.CO/5241/1/ANDRESFELIPERODRIGUEZVASQUEZ.2011.PDF](http://bdigital.unal.edu.co/5241/1/andresfeliperodriguezvasquez.2011.pdf)
- ROMERO R, GALINDO G, OTERO G Y ARMENTERAS P, M. (2004). *ECOSISTEMAS DE LA CUENCA DEL ORINOCO COLOMBIANO*. BOGOTÁ. OBTENIDO DE [HTTP://REPOSITORY.HUMBOLDT.ORG.CO/HANDLE/20.500.11761/9873](http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/9873)
- RUIZ, V., SAVÉ, R., Y HERRERA HERRERA, A. (2014). ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO, EN EL PAISAJE TERRESTRE PROTEGIDO MIRAFLORES MOROPOTENTE NICARAGUA, 1993 – 2011. *REVISTA CIENTÍFICA DE FAREM-ESTELÍ*, 22(11), 57-68. [HTTPS://DOI.ORG/10.5377/FAREM.V0I11.1605](https://doi.org/10.5377/farem.v0i11.1605)
- SALAS-ZAPATA, RÍOS-OSORIO Y ÁLVAREZ-DEL CASTILLO, W. (2011). BASES CONCEPTUALES PARA UNA CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN EN SOSTENIBILIDAD. *REVISTA LASALLISTA DE INVESTIGACIÓN*( VOL. 8, NÚM. 2, JULIO-DICIEMBRE), 136-142.
- SANTAMARÍA, AREIZA, MATAALLANA, SOLANO Y GÁLÁN, M. (2018). *ESTRATEGIAS COMPLEMENTARIAS DE CONSERVACIÓN EN COLOMBIA*. BOGOTÁ: INSTITUTO HUMBOLDT, RESNATUR Y FUNDACIÓN NATURA.
- SANTANDER COMPETITIVO. (2017). *COMISIÓN REGIONAL DE COMPETITIVIDAD*. RECUPERADO EL 28 DE SEPTIEMBRE DE 2017, DE PROYECTO HIDROSOGAMOSO: [HTTP://SANTANDERCOMPETITIVO.ORG/PROYECTOS-11-M/38-HIDROSOGAMOSO.HTM](http://santandercompetitivo.org/proyectos-11-m/38-hidrosogamoso.htm)
- SÃO MIGUEL, A. E., MEDEIROS, R. B., Y GOMES, W. M. (2020). EMPREGO DO SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

- NA AVALIAÇÃO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO SÃO PEDRO, SANTA RITA DO PARDO/MS.  
*REVISTA CERRADOS*, 16(02).  
[HTTPS://DOI.ORG/10.22238/RC24482692201816023150](https://doi.org/10.22238/RC24482692201816023150)
- SERVAES, J., Y ANTINI, T. D. M. M. (2012). *COMUNICACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE Y EL CAMBIO SOCIAL. UNA VISIÓN GENERAL*. 17, 17-41.
- SERRATO, P. (2018). *CONCEPTOS BASICOS DE INTERPRETACION DE AEROFOTOGRAFÍAS E IMÁGENES SATELITALES*. NOVEMBER, 21.  
[HTTPS://DOI.ORG/10.13140/RG.2.2.18697.08809](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18697.08809)
- SOUZA MINAYO, M. C. DE. (2003). *INVESTIGACIÓN SOCIAL: TEORÍA, MÉTODO Y CREATIVIDAD*.
- SUÁREZ-PARRA, K. V., CÉLY-REYES, G. E., Y FORERO-ULLOA, F. E. (2016). VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA CORINE LAND COVER (CLC) PARA DETERMINACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE COBERTURAS: CASO MICROCUENCA DE LA QUEBRADA MECHA (CÓMBITA, BOYACÁ), COLOMBIA. *BIOTA COLOMBIANA*, 17(1), 1-15.  
[HTTPS://DOI.ORG/10.21068/C2016V17R01A01](https://doi.org/10.21068/C2016V17R01A01)
- SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA PLANIFICACIÓN RURAL AGROPECUARIA - SIPRA. (27 DE MARZO DE 2020). *SISTEMA PARA LA PLANIFICACIÓN RURAL AGROPECUARIA*. OBTENIDO DE CAPA: FRONTERA AGRÍCOLA: [HTTPS://SIPRA.UPRA.GOV.CO/#NACIONAL](https://sipra.upra.gov.co/#nacional)
- TAMAYO Y TAMAYO, M. (2014). *METODOLOGÍA FORMAL DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA* (SEGUNDA). LIMUSA, S.A. DE C.V. GRUPO NORIEGA EDITORES.  
[WWW.NORIEGA.COM.MX](http://www.noriega.com.mx)
- TERCERO GAMARRA, J. (2016). CONFORMACIÓN DE LA MESA DE PESCA DEL RÍO GRANDE DE LA MAGDALENA. (PEÑUELA LIZCANO, J. D. ENTREVISTADOR)
- TURNER, R. K., Y DAILY, G. C. (2008). THE ECOSYSTEM SERVICES FRAMEWORK AND NATURAL CAPITAL CONSERVATION. *ENVIRONMENTAL AND RESOURCE ECONOMICS*, 39(1), 25-35. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/S10640-007-9176-6](https://doi.org/10.1007/s10640-007-9176-6)
- UBEDA TRUJILLO, I., Y ROCHA, L. (2020). DINÁMICA DE COBERTURAS DE LA TIERRA EN LA SUBCUENCA III DE LA CUENCA SUR DEL LAGO DE MANAGUA, NICARAGUA. *REVISTA TORREÓN UNIVERSITARIO*, 9(25), 110-128.  
[HTTPS://DOI.ORG/10.5377/TORREON.V9I25.9857](https://doi.org/10.5377/torreon.v9i25.9857)
- UHARTE, L. (2016). EL MEGAPROYECTO HIDROELÉCTRICO DE BELLO MONTE EN BRASIL. *REVISTA DE ANTROPOLOGÍA EXPERIMENTAL*, 91-106.
- UICN-UNIÓN INTERNACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA Y DE LOS RECURSOS NATURALES. (2010). *PAGOS POR SERVICIOS AMBIENTALES: MARCOS JURÍDICOS E INSTITUCIONALES*. RECUPERADO EL 1 DE OCTUBRE DE 2019, DE

- [HTTPS://WWW.IUCN.ORG/ES/CONTENT/PAGOS-POR-SERVICIOS-AMBIENTALES-MARCOS-JUR%3%ADDICOS-E-INSTITUCIONALES](https://www.iucn.org/es/content/pagos-por-servicios-ambientales-marcos-jur%3%addicos-e-institucionales)  
 UICN-UNIÓN MUNDIAL PARA LA NATURALEZA. (2000). *VISIÓN DEL AGUA Y LA NATURALEZA: ESTRATEGIA MUNDIAL PARA LA CONSERVACIÓN Y MANEJO SOSTENIBLE DE RECURSOS HIDRICOS EN EL SIGLO XXI*. RECUPERADO EL 5 DE OCTUBRE DE 2019, DE [HTTPS://BOOKS.GOOGLE.COM.CO/BOOKS?ID=AR2S6EVMRSIC&PG=PA50&LPG=PA50&DQ=%E2%80%9C1.+EL+AGUA+DULCE+ES+UN+RECURSO+FINITO+Y+VULNERABLE,+ESENCIAL+PARA+SUSTENTAR+LA+VIDA,+EL+DESARROLLO+Y+EL+MEDIO+AMBIENTE;+2.+EL+DESARROLLO+Y+MANEJO+DEL+AGUA+DEBER%3%ADAN+SER+PAR](https://books.google.com.co/books?id=AR2S6EVMRSIC&pg=PA50&lpg=PA50&dq=%E2%80%9C1.+EL+AGUA+DULCE+ES+UN+RECURSO+FINITO+Y+VULNERABLE,+ESENCIAL+PARA+SUSTENTAR+LA+VIDA,+EL+DESARROLLO+Y+EL+MEDIO+AMBIENTE;+2.+EL+DESARROLLO+Y+MANEJO+DEL+AGUA+DEBER%3%ADAN+SER+PAR)
- UNIVERSIDAD FEDERAL DE MINAS GERAIS - CSR / UFMG. (2020). *DINAMICA EGO*. RECUPERADO EL 28 DE ENERO DE 2020, DE CENTRO DE SENSORIAMENTO REMOTO: [HTTPS://CSR.UFMG.BR/DINAMICA/](https://csr.ufmg.br/dinamica/)
- VELÁSQUEZ, BOCCO Y SIEBE, A. (2014). *RESEARCHGATE*. RECUPERADO EL FEBRERO DE 2019, DE CAMBIO DE USO DEL SUELO: [HTTPS://WWW.RESEARCHGATE.NET/PUBLICATION/263342417\\_CAMBIO\\_DE\\_USO\\_DEL\\_SUELO](https://www.researchgate.net/publication/263342417_CAMBIO_DE_USO_DEL_SUELO)
- VELÁSQUEZ FRANCO, P. A. (2017). *CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL PAISAJE Y SU ESTADO DE CONSERVACIÓN EN LAS CUENCAS DE CABECERA DE MEDELLÍN*. 31. [HTTPS://BIBLIOTECADIGITAL.USB.EDU.CO/BITSTREAM/10819/3690/1/CARACTERIZACION\\_ESTRUCTURA\\_PAISAJE\\_VELASQUEZ\\_2017.PDF](https://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/3690/1/CARACTERIZACION_ESTRUCTURA_PAISAJE_VELASQUEZ_2017.PDF)
- ZAMBRANO L., H., PRADO, M., NARANJO, L. G., WWF-COLOMBIA, PARQUES NACIONALES NATURALES DE COLOMBIA, & INSTITUTO ALEXANDER VON HUMBOLDT. (2007). *EVALUACIÓN DE INTEGRIDAD ECOLÓGICA - PROPUESTA METODOLÓGICA HERRAMIENTA PARA EL ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD EN EL LARGO PLAZO DE ÁREAS DEL SISTEMA DE PARQUES NACIONALES NATURALES DE COLOMBIA*. 26.
- ZAMORA PEREIRA, J., PABLO, I., PÉREZ, C., ROBALINO, J., ARGOTTY, F., SANDOVAL, C., CIFUENTES, M., Y LABBATE, GABRIEL. (2016). *ESCENARIOS DE DEFORESTACIÓN FUTURA EN PANAMÁ*. [HTTPS://DOI.ORG/10.13140/RG.2.2.29942.75846](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29942.75846)
- ZUMAETA LOZANO, D. L. (2019). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL Y PREDICTIVO DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO Y PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA MICROCUENCA YUYAC, AMAZONAS, 2018*. 71. [HTTP://REPOSITORIO.UNTRM.EDU.PE/BITSTREAM/HANDLE/UNTRM/1482/CHAPA GRANDEZ SALLY PATRICIA.PDF?SEQUENCE=1&ISALLOWED=Y](http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/untrm/1482/chapa_grandez_sally_patricia.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

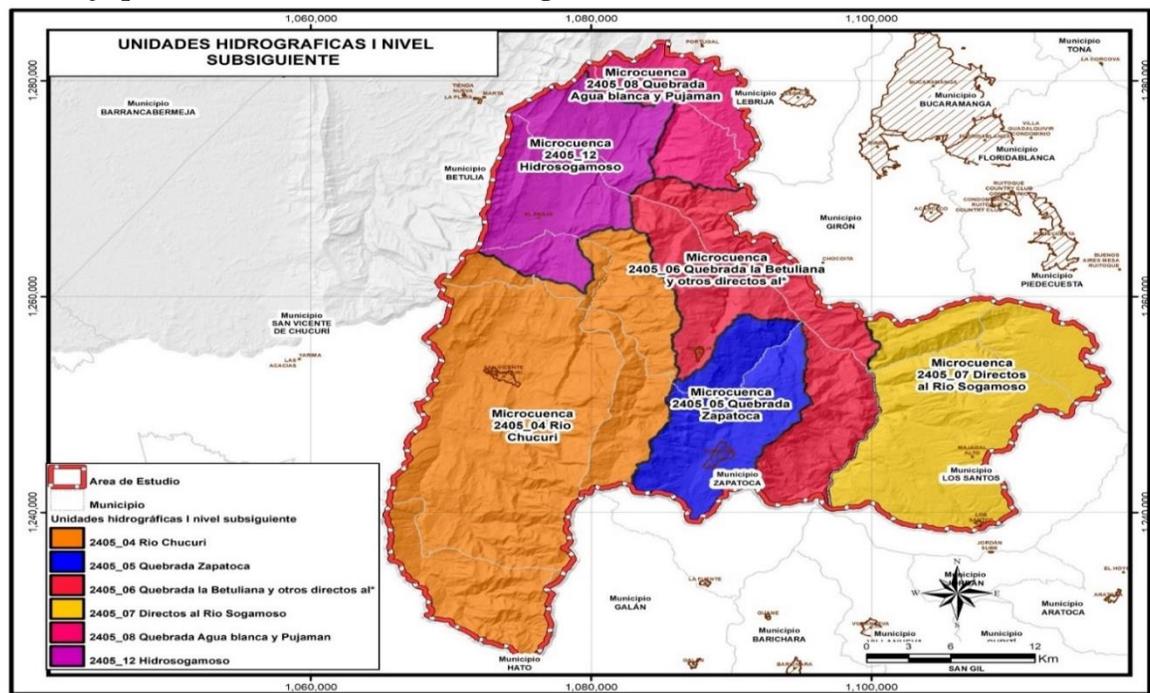
Lista de Anexos

Anexo 1. Ubicación Geográfica Espacial por Unidades Hidrográficas de Nivel 1 del Área de Trabajo



Nota. Fuente: El autor.

Área de Trabajo por UHN1 - Parte Alta del Río Sogamoso



Nota. Fuente: El autor.

## **Anexo 2. Principales Normas para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y de uso Eficiente del Agua en Colombia**

---

<b>Norma Decreto 1729 de 2002.</b>	
<b>Objeto de la norma</b>	<i>“Se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto-ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente el numeral 12 del artículo 5° de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones” (Decreto 1729, 2002, párrafo 1).</i>
<b>Propósitos</b>	La ordenación de una cuenca tiene por objeto principal el planeamiento del uso y manejo sostenible de sus recursos naturales renovables, de manera que se consiga mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca y particularmente de sus recursos hídricos.
<b>Generalidades</b>	Define la conceptualización de cuenca, Delimitación de la cuenca y del uso. Como también las fases o etapas del plan de ordenación, elaboración, ejecución y fuentes de financiación de los planes de ordenación.

---

<b>Decreto 1200 de 2004.</b>	
<b>Objeto de la norma</b>	Por el cual se determinan los Instrumentos de Planificación Ambiental y se adoptan otras disposiciones.

**Propósitos** Incorporar los procesos de planificación ambiental regional, acorde con las competencias de las autoridades ambientales.

Las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible pertenecen al Sistema Nacional Ambiental y deben obedecer a una misma Política, por lo tanto, sus mecanismos de planificación, ejecución y control deben ser armónicos, coherentes y homogéneos entre sí, de tal forma que permita hacer el seguimiento y evaluación integral de la Política Ambiental Nacional

**Planificación Ambiental regional.** Es un proceso dinámico de planificación del desarrollo sostenible que permite a una región orientar de manera coordinada el manejo, administración y aprovechamiento de sus recursos naturales renovables.

**Instrumentos** Plan de Gestión Ambiental Regional (PGAR).

Plan de Acción TRIENAL (PAT).

Presupuesto anual de rentas y gastos.

Contiene la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH) que establece los objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción estratégica para el manejo del recurso hídrico en el país, en un horizonte de 12 años.

**Política nacional para la**

---

**gestión integral de  
recursos hídricos  
2010**

Plantea el reto de garantizar la sostenibilidad del recurso, entendiendo que su gestión se deriva del ciclo hidrológico que vincula una cadena de interrelaciones entre diferentes componentes naturales y antrópicos.

El Plan Nacional de Desarrollo estableció además que se requiere abordar el manejo del agua como una estrategia de carácter nacional desde una perspectiva ambiental e integral que recoja las particularidades de la diversidad regional y las potencialidades de la participación de actores sociales e institucionales.

En el nivel local, los municipios como integrantes del Sistema Nacional Ambiental, deben desarrollar planes, programas y proyectos generales y sectoriales para la gestión integral del recurso hídrico, articulados con los planes de desarrollo regional y nacional.

---

**Decreto 1480 de 2007.**

**Objeto de la  
norma**

Se priorizan a nivel nacional el ordenamiento y la intervención de algunas cuencas hidrográficas y se dictan otras disposiciones.

Las Autoridades ambientales competentes inicien su proceso de ordenación y manejo y de que las entidades territoriales

adopten las medidas necesarias para prevenir y mitigar los factores de riesgo.

**Cuencas hidrográficas prioritizadas a nivel nacional.** Río Páez, Río Guarinó, Río Guatiquía, Río Chicamocha, Río Bogotá, Río Medellín, Río Suárez, Río Sinú, Río Cali, Río Combeima

---

**Decreto 1640 de 2012.**

---

Se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones.

Reglamentar El artículo 316 del Decreto-ley 2811 de 1974 en relación con los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos del país, de conformidad con la estructura definida en la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico.

El párrafo 3° de la Ley 99 de 1993 y artículo 212 de la Ley 1450 de 2011 sobre comisiones conjuntas de cuencas hidrográficas comunes y procedimientos de concertación para el adecuado y armónico manejo de áreas de confluencia de jurisdicciones entre las Corporaciones Autónomas Regionales y el Sistema de Parques Nacionales o Reservas.

**Principales conceptos**

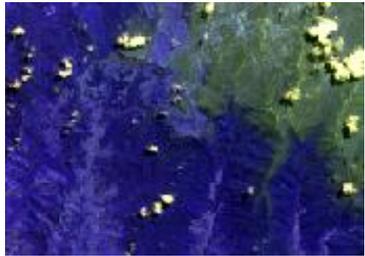
Acuíferos, Aguas subterráneas, Amenaza, Cuenca hidrográfica, Ecosistema, Ecosistema de importancia estratégica para la conservación de recursos hídricos, Estructura ecológica principal, Gestión del riesgo, Recurso hídrico, Servicios

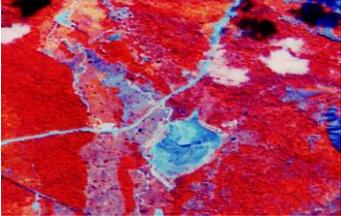
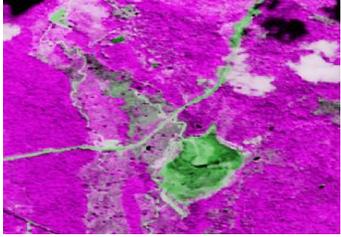
ecosistémicos, Vulnerabilidad intrínseca de un acuífero a la contaminación, Vulnerabilidad.

---

Nota. Fuente: El autor tomando como referencia las normas citadas.

### Anexo 3. Combinación de Bandas, Visualización y Usos

Combinación de bandas Spot	Visualización	Uso
Red 1, Green 2, Blue 3		Resalta las coberturas con vegetación fotosintética, es decir, áreas de bosques, vegetación secundaria y pastos enmalezados o arbolados.
Red 3, Green 2, Blue 1		Muestra el color verdadero de las coberturas. Ideal para la identificación de los territorios artificializados y bosques.
Combinación de bandas RapidEye	Visualización	Uso
Red 3, Green 2, Blue 1		Muestra el color verdadero de las coberturas. Ideal para la identificación de los territorios artificializados y bosques.

Combinación de bandas Spot	Visualización	Uso
Red 5, Green 4, Blue 3		Resalta las coberturas con vegetación fotosintética es decir áreas de bosques, vegetación secundaria y pastos enmalezados o arbolados.
Red 5, Green 4, Blue 5		Mediante este tipo de combinación se puede identificar los territorios agrícolas.

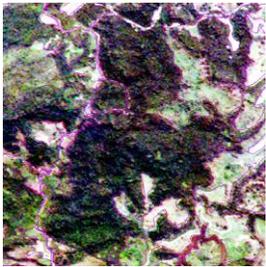
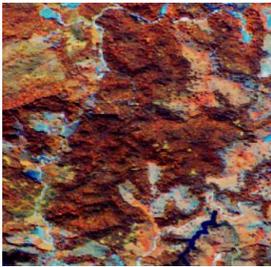
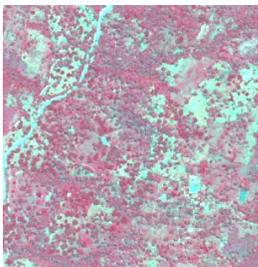
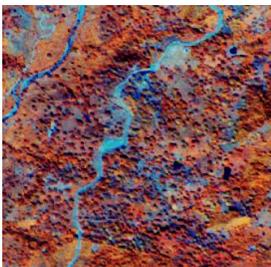
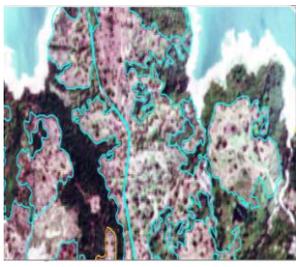
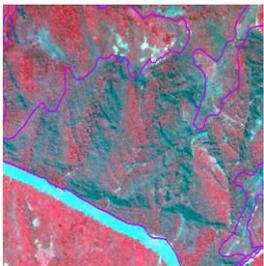
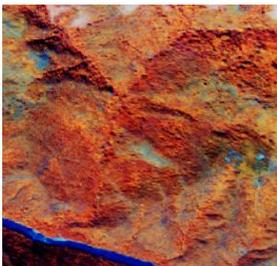
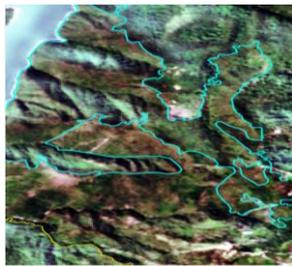
Combinación de bandas Sentinel-2	Visualización	Uso
Red 4, Green 3, Blue 2		Destaca las coberturas con vegetación fotosintética, es decir, áreas de bosques, vegetación secundaria y pastos enmalezados o arbolados.

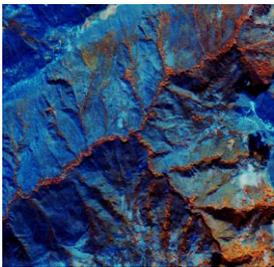
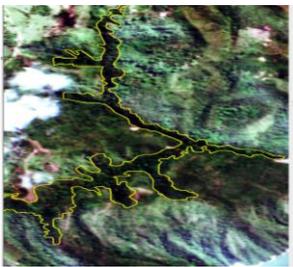
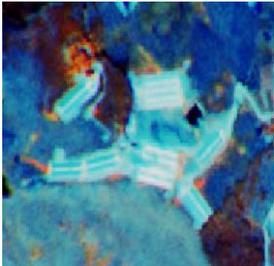
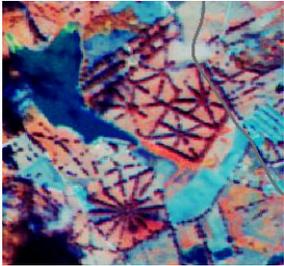
<b>Combinación de bandas Spot</b>	<b>Visualización</b>	<b>Uso</b>
Red 3, Green 2, Blue 1		Muestra el color verdadero de las coberturas. Ideal para la identificación de los territorios artificializados y bosques.

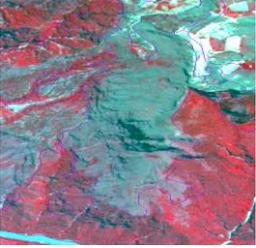
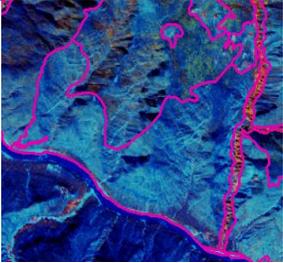
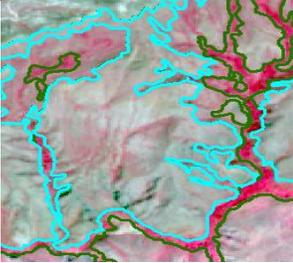
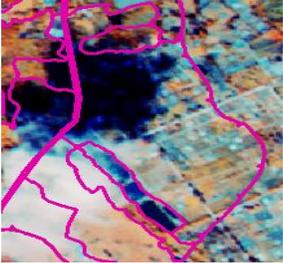
---

**Nota.** Fuente: El autor

#### Anexo 4. Combinaciones, según Sensor y Tipo de Cobertura Identificada

Spot	Rapideye	Sentinel	cobertura
			bosque denso bajo
Combinación 321	Combinación 543	Combinación 321	
			Pastos arbolados
Combinación 321	Combinación 543	Combinación 321	
			Arbustal denso
Combinación 321	Combinación 543	Combinación 321	

Spot	Rapideye	Sentinel	cobertura
			Bosque de galería
Combinación 321	Combinación 543	Combinación 321	
			Zonas industriale s y comerciales
Combinación 321	Combinación 543	Combinación 321	es
			Cultivos
Combinación 321	Combinación 543	Combinación 432	

Spot	Rapideye	Sentinel	cobertura
			Herbazal denso
Combinación 321	Combinación 543	Combinación 432	
			Zonas urbanizad as
Combinación 321	Combinación 543	Combinación 321	

**Nota.** Fuente: El autor

Anexo 5. Validación de exactitud mapa de coberturas 2019

Código subcuenta 2019	Validación																										Total	Cantidad Polígono	X		
	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ					
911	1																										1	3	3	100,0%	
912	1	5	2																									1	10	10	66,67%
921	1	10																										1	104	104	99,94%
9211	1	1	2	2																								5	5	40,00%	
9212	1	1	1	1																								1	1	100,0%	
9221	1	1	1																									1	40	42,50%	
9222	1	1	1																									2	2	100,0%	
925	1	1	1																									1	1	100,0%	
931	1	1	1																									1	1	100,0%	
9311	1	1	1																									1	1	100,0%	
932	1	1	1																									1	1	100,0%	
9321	1	1	1																									1	1	100,0%	
9322	1	1	1																									1	1	100,0%	
933	1	1	1																									1	1	100,0%	
9331	1	1	1																									1	1	100,0%	
9332	1	1	1																									1	1	100,0%	
934	1	1	1																									1	1	100,0%	
9341	1	1	1																									1	1	100,0%	
9342	1	1	1																									1	1	100,0%	
935	1	1	1																									1	1	100,0%	
9351	1	1	1																									1	1	100,0%	
9352	1	1	1																									1	1	100,0%	
936	1	1	1																									1	1	100,0%	
9361	1	1	1																									1	1	100,0%	
9362	1	1	1																									1	1	100,0%	
937	1	1	1																									1	1	100,0%	
9371	1	1	1																									1	1	100,0%	
9372	1	1	1																									1	1	100,0%	
938	1	1	1																									1	1	100,0%	
9381	1	1	1																									1	1	100,0%	
9382	1	1	1																									1	1	100,0%	
939	1	1	1																									1	1	100,0%	
9391	1	1	1																									1	1	100,0%	
9392	1	1	1																									1	1	100,0%	
941	1	1	1																									1	1	100,0%	
9411	1	1	1																									1	1	100,0%	
9412	1	1	1																									1	1	100,0%	
942	1	1	1																									1	1	100,0%	
9421	1	1	1																									1	1	100,0%	
9422	1	1	1																									1	1	100,0%	
943	1	1	1																									1	1	100,0%	
9431	1	1	1																									1	1	100,0%	
9432	1	1	1																									1	1	100,0%	
944	1	1	1																									1	1	100,0%	
9441	1	1	1																									1	1	100,0%	
9442	1	1	1																									1	1	100,0%	
945	1	1	1																									1	1	100,0%	
9451	1	1	1																									1	1	100,0%	
9452	1	1	1																									1	1	100,0%	
946	1	1	1																									1	1	100,0%	
9461	1	1	1																									1	1	100,0%	
9462	1	1	1																									1	1	100,0%	
947	1	1	1																									1	1	100,0%	
9471	1	1	1																									1	1	100,0%	
9472	1	1	1																									1	1	100,0%	
948	1	1	1																									1	1	100,0%	
9481	1	1	1																									1	1	100,0%	
9482	1	1	1																									1	1	100,0%	
949	1	1	1																									1	1	100,0%	
9491	1	1	1																									1	1	100,0%	
9492	1	1	1																									1	1	100,0%	
951	1	1	1																									1	1	100,0%	
9511	1	1	1																									1	1	100,0%	
9512	1	1	1																									1	1	100,0%	
954	1	1	1																									1	1	100,0%	
9541	1	1	1																									1	1	100,0%	
9542	1	1	1																									1	1	100,0%	
955	1	1	1																									1	1	100,0%	
9551	1	1	1																									1	1	100,0%	
9552	1	1	1																									1	1	100,0%	
959	1	1	1																									1	1	100,0%	
9591	1	1	1																									1	1	100,0%	
9592	1	1	1																									1	1	100,0%	
96	1	1	1																									1	1	100,0%	
961	1	1	1																									1	1	100,0%	
962	1	1	1																									1	1	100,0%	
963	1	1	1																									1	1	100,0%	
9631	1	1	1																									1	1	100,0%	
9632	1	1	1																									1	1	100,0%	
964	1	1	1																									1	1	100,0%	
9641	1																														

## Anexo 6. Matrices de cambio obtenidas según periodo de tiempo analizado, expresadas en Hectáreas (Ha)

### ➤ Periodo 2005-2013

	2013											
2005	(TA)	(CAP)	(LP, AR Y ENM)	(AAH)	(BD-Gal)	(BF)	(H-ARB)	(VST)	(PF)	(AAB)	(SA)	(NB)
(TA)	1791,06	0,26	4,77	2,16	0,23	1,46	1,49	0,00	0,00	0,26	1,14	0,00
(CAP)	2,32	2849,30	17,77	174,87	0,00	241,47	0,00	8,25	0,00	0,00	0,95	0,00
(LP, AR y ENM)	63,36	173,55	10314,30	1960,82	46,45	123,5	507,63	1004,4	61,23	48,31	33,58	82,51
(AAH)	78,79	76,86	2392,19	18315,05	49,91	361,09	148,69	566,85	46,2	13,77	65,15	55,06
(BD-Gal)	6,21	0,00	96,90	85,63	22386,38	474,75	45,45	340,27	0,00	8,45	23,78	0,00
(BF)	6,93	442,99	430,93	872,53	336,83	11578,47	62,57	184,88	0,00	8,01	23,99	0,00
(H-ARB)	59,01	0,00	360,86	861,95	71,33	7,43	35768,16	236,69	112,36	209,83	71,04	0,00
(VST)	42,38	88,19	1218,18	1302,8	352,84	778,34	233,81	9881,88	71,68	105,76	38,81	47,89
(PF)	0,00	0,00	0,00	0,99	0,00	0,00	2,47	0,42	334,51	0,00	0,00	0,00
(AAB)	7,29	0,00	26,92	7,37	0,44	1,47	13,5	22,35	0,00	838,18	0,01	0,00
(SA)	3,25	1,78	36,03	55,32	10,57	33,44	49,8	0,41	91,3	2,90	1032,41	0,00
(NB)	0,00	0,00	9,73	3,38	0,00	14,86	0,00	4,06	0,00	0,00	0,00	65,87

### ➤ Periodo 2005-2013

	2019											
2013	(TA)	(CAP)	(LP, AR Y ENM)	(AAH)	(BD-Gal)	(BF)	(H-ARB)	(VST)	(PF)	(AAB)	(SA)	(NB)
(TA)	1960,85	1,98	15,01	10,38	2,88	2,41	6,03	19,05	1,85	0,21	40,10	0,00
(CAP)	0,00	3610,43	3,55	18,24	0,04	0,00	12,62	0,00	0,00	0,00	0,39	0,00
(LP, AR y ENM)	35,88	5,13	11373,99	1919,1	12,43	53,75	0,00	750,16	57,16	90,2	1334,3	30,7
(AAH)	84,85	574,63	1190,84	11201,79	30,62	168,78	39,33	747,73	174,04	70,05	1355,54	0,00
(BD-Gal)	1,83	0,02	63,80	58,35	21903,31	370,9	110,05	267,35	4,55	0,80	334,26	140,63
(BF)	1,47	974,91	199,69	273,80	475,18	10538,83	14,2	698,35		21,33	417,92	0,58
(H-ARB)	15,84	75,00	356,34	1003,5	51,86	85,93	33048,63	347,07	427,2	122,71	787,83	0,00
(VST)	25,02	132,42	738,11	734,75	238,95	662,98	15,45	8198,85	53,79	37,75	1503,69	0,00
(PF)	0,00	3,31	0,00	0,35	0,00	0,02	1,17	0,00	621,15	0,00	0,00	0,00
(AAB)	11,49	0,00	81,20	23,31	1,13	0,50	84,14	29,92	0,00	961,07	42,70	0,00

(SA)	10,44	0,00	2,91	5,02	0,55	4,33	22,81	13,76	0,00	0,12	392,47	0,00
(NB)	0,00	0,00	41,74	72,02	0,00	0,00	0,00	137,57	0,00	0,00	0,00	0,00

➤ **Periodo 2005-2019**

	2019											
2005	(TA)	(CAP)	(LP, AR Y ENM)	(AAH)	(BD-Gal)	(BF)	(H-ARB)	(VST)	(PF)	(AAB)	(SA)	(NB)
(TA)	1737,48	1,61	6,33	7,57	2,39	0,00	5,70	9,66	0,95	0,17	3,12	0,00
(CAP)	2,32	3032,22	20,98	192,32	0,04	37,86	0,00	8,25	0,00	0,00	22,59	0,00
(LP, AR y ENM)	92,97	190,05	7671,08	2598,2	31,16	173,44	494,92	1132,03	143,63	62,93	1754,28	30,7
(AAH)	152,28	275,09	2660,58	7924,70	72,59	400,84	63,16	773,45	199,61	94,04	1018,50	0,00
(BD-Gal)	8,56	0,02	158,54	154,56	21402,38	649,29	163,16	506,89	5,57	5,02	291,74	140,62
(BF)	6,39	1593,32	581,37	530,75	501,45	9489,32	35,65	723,84	2,17	26,13	457,15	0,59
(H-ARB)	71,29	44,92	547,55	1780,74	123,32	151,16	32161,21	425,00	547,79	281,97	1134,00	0,00
(VST)	58,56	235,81	1507,21	1551,14	568,35	952,78	64,58	7528,50	105,36	49,59	1540,69	0,00
(PF)	0,00	0,00	0,00	0,99	0,00	0,00	2,47	0,27	334,67	0,00	0,00	0,00
(AAB)	6,87	0,00	51,04	30,52	6,81	1,46	14,94	7,81	0,00	784,29	13,77	0,00
(SA)	11,18	4,8	23,16	15,5	8,46	30,7	29,93	24,17	0,00	0,12	368,17	0,00
(NB)	0,00	0,00	23,02	3,38	0,00	1,57	0,00	69,94	0,00	0,00	0,00	0,00

Nota. Fuente: El autor

### Anexo 7. Características de las métricas del paisaje seleccionadas

Métrica	Descripción	Fuente
Total Área (CA/TA)	CA es igual a la suma de las áreas (m <sup>2</sup> ) de todos los parches del tipo de parche correspondiente, dividida por 10,000 (para convertir a hectáreas); es decir, área total de la clase.	(Rámirez Cano, 2016)
	<b>Rango.</b> CA > 0, sin límite. CA se acerca a 0 a medida que el tipo de parche se vuelve cada vez más raro en el paisaje. CA = TA cuando todo el paisaje consta de un solo tipo de parche; es decir, cuando la imagen completa se compone de un solo parche.	(McGarigal et al. 1995)
Número de Parches (NP)	Este tipo de métrica se emplea para medir la fragmentación del paisaje. Entre más alto sea el resultado, indica mayor fragmentación.	(Mendoza Mora et al. 2017)
	<b>Rango.</b> NP ≥ 1, sin límite. NP = 1 cuando el paisaje contiene solo 1 parche del tipo de parche correspondiente; es decir, cuando la clase consta de un solo parche.	(McGarigal et al. 1995)
Índice del parche más grande (LPI)	Este índice es una medida de dominancia de clase (uso de la tierra) y parches. Mide el porcentaje que ocupa el parche o fragmento más grande en	(Mendoza Mora et al. 2017) e (Ibáñez Giménez, 2016).

	el total de tipo de coberturas, sugiere que entre más cercano esté de 100, la fragmentación es menor.	
	<b>Rango.</b> $0 < LPI \leq 100$ . El LPI se acerca a 0 cuando el parche más grande del tipo de parche correspondiente es cada vez más pequeño. $LPI = 100$ cuando todo el paisaje consiste en un solo parche del tipo de parche correspondiente; es decir, cuando el parche más grande comprende el 100% del paisaje.	(McGarigal et al. 1995)
Área núcleo efectiva de cada una de las unidades (TCA)	TCA = 0 cuando todos los puntos situados en el interior de un parche están dentro de una distancia del borde especificada desde los perímetros. TCA se acerca a la superficie total del paisaje cuando la distancia del borde se reduce y cuando las formas de los parches son muy simples.	(García y Mendoza, 2017)
	<b>Rango.</b> $TCA \geq 0$ , sin límite. TCA = 0 cuando cada ubicación dentro de cada parche del tipo de parche correspondiente se encuentra dentro de la (s) distancia (s) de profundidad de borde especificada desde los perímetros del parche. El TCA se acerca al área total de la clase (CA) a medida que la profundidad de la distancia al borde especificada disminuye y se simplifican las formas de los parches.	(McGarigal et al. 1995)

<p>Conectividad entre fragmentos – Distancia Euclidiana al vecino más cercano ENN_MN</p>	<p>Es una medida para cada uso de la distancia a la tesela más próxima del mismo uso, aporta información acerca del grado de aislamiento de los distintos fragmentos. Una reducción de los valores puede indicar la aparición de nuevos fragmentos en el caso de uso que se encuentran muy aislados, mientras que por el contrario su aumento puede indicar la agregación de múltiples fragmentos que se encontraban muy cercanos.</p>	<p>(Aguilera, 2010)</p>
	<p>MN (Media) es igual a la suma, en todos los parches del tipo de parche correspondiente, de los valores métricos del parche correspondiente, dividida por el número de parches del mismo tipo. MN se da en las mismas unidades que la métrica del parche correspondiente.</p>	<p>(McGarigal et al. 1995)</p>
<p>Continuidad longitudinal cohesión o Índice de cohesión entre parches (COHESION)</p>	<p>Este tipo de métrica, calcula el valor de “agregación y dominancia” de las coberturas vegetales que integran un determinado paisaje o área objeto de estudio. Es una métrica que permite observar la “conectividad física” de una determinada área objeto de estudio o de paisaje.</p>	<p>(Ibañez Giménez, 2016) y (Correa Ayram et al. 2014)</p>
	<p><b>Rango.</b> <math>0 \leq \text{COHESIÓN} &lt; 100</math>. La COHESIÓN se acerca a 0 a medida que la proporción del paisaje que comprende la clase focal disminuye y se vuelve cada vez más subdividida y menos conectada físicamente. La COHESIÓN</p>	<p>(McGarigal et al. 1995)</p>

	<p>aumenta monótonamente a medida que aumenta la proporción del paisaje que comprende la clase focal hasta que se alcanza una asíntota cerca del umbral de percolación (ver discusión de fondo). La COHESIÓN se da como 0 si el paisaje consiste en una sola celda sin fondo.</p>	
--	---	--

Nota. **Fuente: El autor**

**Anexo 8. Cambios Encontrados por Tipos de Cobertura en la Parte Alta de Cuenca del Río Sogamoso - Periodo 2005-2013-2019**

Tipo de Cobertura	2005	2013	2019	Cambio en Hectáreas			Tasa de cambio %		
	(ha)	(ha)	(ha)	2005-2013	2013-2019	2005-2019	2005-2013	2013-2019	2005-2019
TA)	1809,68	2067,57	2160,94	257,89	93,37	351,2	1,78	0,75	1,39
CAP	3294,92	3632,93	5377,83	338	1744,9	2082,9	1,28	8,01	4,52
LP, AR y ENM	16442,12	16931,16	15317,58	489	<b>-1613,5</b>	<b>-1124,5</b>	0,37	-1,59	-0,49
AAH	24307,01	25780,21	25462,6	<b>1473,2</b>	<b>-317,6</b>	<b>1155,6</b>	0,76	-0,21	0,34
AAB	917,52	1235,46	1304,28	317,9	68,8	386,7	4,33	0,93	3,01
PF	338,4	625,98	1339,75	287,5	<b>713,7</b>	<b>1001,3</b>	<b>10,62</b>	<b>19</b>	<b>21,14</b>
CAA	62,07	58,08	5855,91	-3,99	<b>5797,8</b>	<b>5793,8</b>	<b>-0,8</b>	<b>1663,88</b>	<b>666,78</b>
AAT	<b>47171,72</b>	<b>50331,39</b>	<b>56818,9</b>	<b>3159,67</b>	<b>6487,5</b>	<b>9647,1</b>	<b>0,84</b>	<b>2,15</b>	<b>1,46</b>
BD-Gal	23486,36	23255,85	22716,95	-230,5	-538,8	-769,4	-0,12	-0,39	-0,23
<b>BF</b>	<b>13948,14</b>	<b>13616,28</b>	<b>11888,42</b>	<b>-331,8</b>	<b>-1727,8</b>	<b>-2059,7</b>	<b>-0,3</b>	<b>-2,11</b>	<b>-1,05</b>
<b>H-ARB</b>	<b>38368,58</b>	<b>37461,06</b>	<b>34493,37</b>	<b>-907,5</b>	<b>-2967,6</b>	<b>-3875,2</b>	<b>-0,3</b>	<b>-1,32</b>	<b>-0,72</b>
<b>VST</b>	<b>14162,56</b>	<b>12341,77</b>	<b>11209,79</b>	<b>-1820,8</b>	<b>-1131,9</b>	<b>-2952,7</b>	<b>-1,61</b>	<b>-1,53</b>	<b>-1,49</b>
SA	1299,64	1277,23	1235,56	-22,41	-41,6	-64	-0,22	-0,54	-0,35
AN	<b>91363,19</b>	<b>88203,51</b>	<b>81716</b>	<b>-3159,67</b>	<b>-6487,51</b>	<b>-9647,18</b>	<b>-0,43</b>	<b>-1,23</b>	<b>-0,75</b>

**Nota 1:** TA: Territorios Artificializados, CAP: Cultivos agroforestales y permanentes, LP, AR y ENM: Pastos Limpios, Arbolados y Enmalezados, AAH: Áreas agrícolas heterogéneas, AAB: Áreas abiertas, PF: Plantaciones forestales, CAA: Cuerpos de agua artificiales, AAT: Áreas artificializadas o intervenidas, BD\_Gal: Bosque denso y de galería, **BF**, Bosque fragmentado, **H-ARB**: Herbazales y arbustales, **VST**: Vegetación secundaria o en transición, SA: Superficies de agua, NB: Nubes y AN Área Naturales.

**Nota 2:** CVI: Coberturas Vegetales Identificadas.

**Nota 3.** Fuente: El autor.

**Anexo 9. Transiciones Sistemáticas de la UHN1 Río Sogamoso, Según Periodo de Tiempo, Categorias Ganadoras**

Periodo	2005-2013		2013-2019		2005-2019	
Leyenda	Intensidad ganancia	Intensidad Uniforme	Intensidad ganancia	Intensidad Uniforme	Intensidad ganancia	Intensidad Uniforme
	% de la categoria 2013	% dominio del intervalo	% de la categoria 2019	% dominio del intervalo	% de la categoria 2019	% dominio del intervalo
TA	1.64	1.74	1.45	2.84	1,36	1,81
CAP	2.70	1.74	5.48	2.84	3,12	1,81
PASTOS	3.90	1.74	3.19	2.84	3,01	1,81
AAH	2.82	1.74	4.48	2.84	3,32	1,81
BD-GAL	0.47	1.74	0.60	2.84	0,41	1,81
BF	1.87	1.74	1.89	2.84	1,44	1,81
H-ARB	0.36	1.74	0.15	2.84	0,19	1,81
VST	2.42	1.74	4.48	2.84	2,35	1,81
PF	6.67	1.74	8.94	2.84	5,36	1,81
AAB	4.02	1.74	4.39	2.84	2,85	1,81
SA	2.50	1.74	15.61	2.84	6,74	1,81
NB	9.22	1.74	16.67	2.84	7,14	1,81
% de dominio del intervalo		5.60%		8.94%		13.74%

**Nota 1.** TA: Territorios Artificializados, CAP: Cultivos agroforestales y permanentes, LP, AR y ENM: Pastos Limpios, Arbolados y Enmalezados, AAH: Áreas agrícolas heterogéneas, PF: Plantaciones forestales, AAB: Áreas abiertas, BD\_Gal: Bosque denso y de galería, BF, Bosque fragmentado, H-ARB: Herbazales y arbustales, VST: Vegetación secundaria o en transición, SA: Superficies de agua y NB: Nubes.

**Nota 2.** Fuente: El autor

**Anexo 10. Transiciones Sistemáticas de la UHN1 Río Sogamoso, Según Periodo de Tiempo, Categorías Perdedoras**

Periodo	2005-2013		2013-2019		2005-2019	
	Intensidad ganancia	Intensidad Uniforme	Intensidad ganancia	Intensidad Uniforme	Intensidad ganancia	Intensidad Uniforme
Leyenda	% de la categoría 2013	% dominio del intervalo	% de la categoría 2019	% dominio del intervalo	% de la categoría 2019	% dominio del intervalo
TA	0.08	1.74	0.81	2.84	0.15	1.81
CAP	1.69	1.74	0.16	2.84	0.61	1.81
PASTOS	3.56	1.74	4.56	2.84	3.33	1.81
AAH	2.17	1.74	4.73	2.84	2.99	1.81
BD-GAL	0.58	1.74	0.97	2.84	0.63	1.81
BF	2.12	1.74	3.77	2.84	2.28	1.81
H-ARB	0.66	1.74	1.50	2.84	0.98	1.81
VST	3.78	1.74	5.59	2.84	3.35	1.81

PF	0.14	1.74	0.13	2.84	0.08	1.81
AAB	1.08	1.74	3.70	2.84	1.04	1.81
SA	2.70	1.74	2.21	2.84	2.05	1.81
NB	8.12	1.74	16.67	2.84	7.14	1.81
% de dominio del intervalo		5.03%		6.23		10.13%
<p><b>Nota 1.</b> TA: Territorios Artificializados, CAP: Cultivos agroforestales y permanentes, LP, AR y ENM: Pastos Limpios, Arbolados y Enmalezados, AAH: Áreas agrícolas heterogéneas, PF: Plantaciones forestales, AAB: Áreas abiertas, BD_Gal: Bosque denso y de galería, BF, Bosque fragmentado, H-ARB: Herbazales y arbustales, VST: Vegetación secundaria o en transición, SA: Superficies de agua y NB: Nubes.</p> <p><b>Nota 2.</b> Fuente: El autor</p>						

## Anexo 11. Evaluación Integral de las Unidades Espaciales Naturales, Según las Métricas de Paisaje Obtenidas Año 2013 y 2019

Bosque denso alto de tierra firme								
Indicador		2013	2019	Indicador	Estado Indicador	Calificación Estado Indicador		valor final
Área total	TA (ha)	15.989,02	16.132,10	0,89	Deseable	5	5	
Número de parches	NP	75,00	81,00	8,00	Deseable	5		
Índice del parche más grande	LPI	7,4522	7,4293	-0,31	No deseable	1		
Área núcleo efectiva	TCA	9.971,51	9.875,85	-0,96	No deseable	1	2,33	<b>3,7</b>
Conectividad entre fragmentos	ENN_MN	224,86	239,06	6,31	Deseable	5		
Continuidad Longitudinal	COHESIÃO	999,05	999,00	-0,01	Deseable	5		
Continuidad Altitudinal	RANGO	2910,84	2806,55	-3,58	No deseable	1	3,7	
Bosque denso bajo de tierra firme								
Indicador		2013	2019	Indicador	Estado Indicador	Calificación Estado Indicador		valor final
Área total	TA (ha)	2.841,86	2.390,32	-15,9	No deseable	1	1	
Número de parches	NP	33,00	24,00	-27,3	No deseable	1		
Índice del parche más grande	LPI	0,5774	0,6668	15,5	Deseable	5		
Área núcleo efectiva	TCA	755,60	568,44	-24,8	No deseable	1	2,33	<b>1,89</b>
Conectividad entre fragmentos	ENN_MN	822,56	1.294,70	57,4	Deseable	5		
Continuidad Longitudinal	COHESIÃO	996,11	996,74	0,1	No deseable	1		
Continuidad Altitudinal	RANGO	2630,70	2043,75	-22,3	No deseable	1	2,33	
Bosque de galería y/o ripario								
Indicador		2013	2019	Indicador	Estado Indicador	Calificación Estado Indicador		valor final
Área total	TA (ha)	4.424,89	4.194	-5,22	No deseable	1	1	
Número de parches	NP	158,00	163,00	3,16	Deseable	5	2,33	<b>1,89</b>

Índice del parche más grande	LPI	0,3151	0,2608	-17,23	No deseable	1	
Área núcleo efectiva	TCA	17,46	16,64	-4,69	No deseable	1	
Conectividad entre fragmentos	ENN_MN	347,42	333,49	-4,01	No deseable	1	
Continuidad Longitudinal	COHESIÃO N	992,96	992,37	-0,06	Deseable	5	
Continuidad Altitudinal	RANGO	2440,70	2329,50	-4,56	No deseable	1	2,33
<b>Herbazal denso</b>							

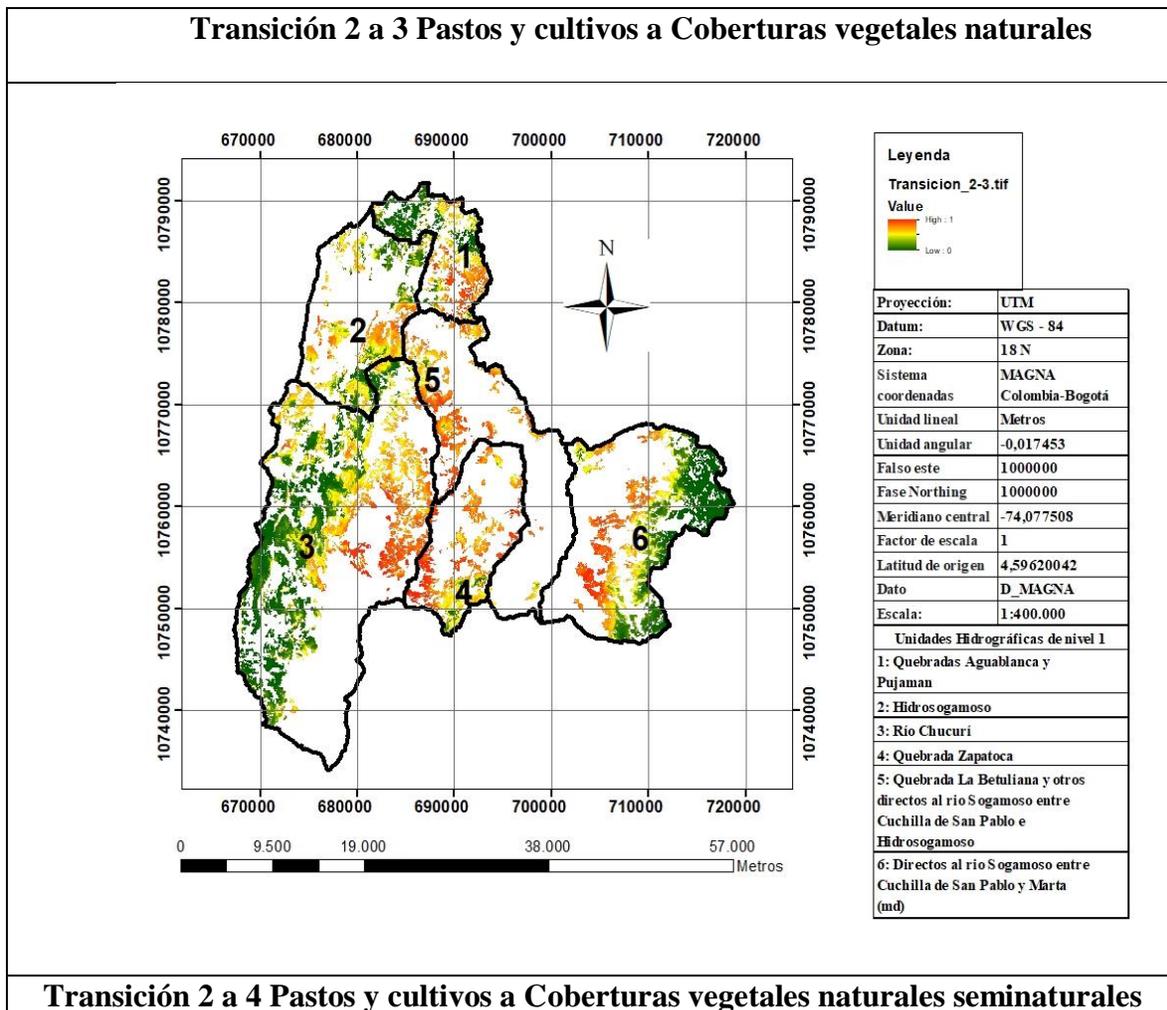
INDICADOR		2013	2019	Indicador	Estado Indicador	Calificación Estado Indicador		valor final
Área total	TA (ha)	2.396,08	1.764,33	-26,37	No deseable	1	1	
Número de parches	NP	41,83	30,29	-27,59	No deseable	1		
Índice del parche más grande	LPI	0,21	0,2	-4,76	No deseable	1		
Área núcleo efectiva	TCA	829,39	617,25	-25,58	No deseable	1	1,00	<b>1,89</b>
Conectividad entre fragmentos	ENN_MN	250,96	1.222,92	387,30	Deseable	5		
Continuidad Longitudinal	COHESIÃO N	985,53	980,94	-0,47	Deseable	5		
Continuidad Altitudinal	RANGO	1.444,42	1068,15	-26,05	No deseable	1	3,67	

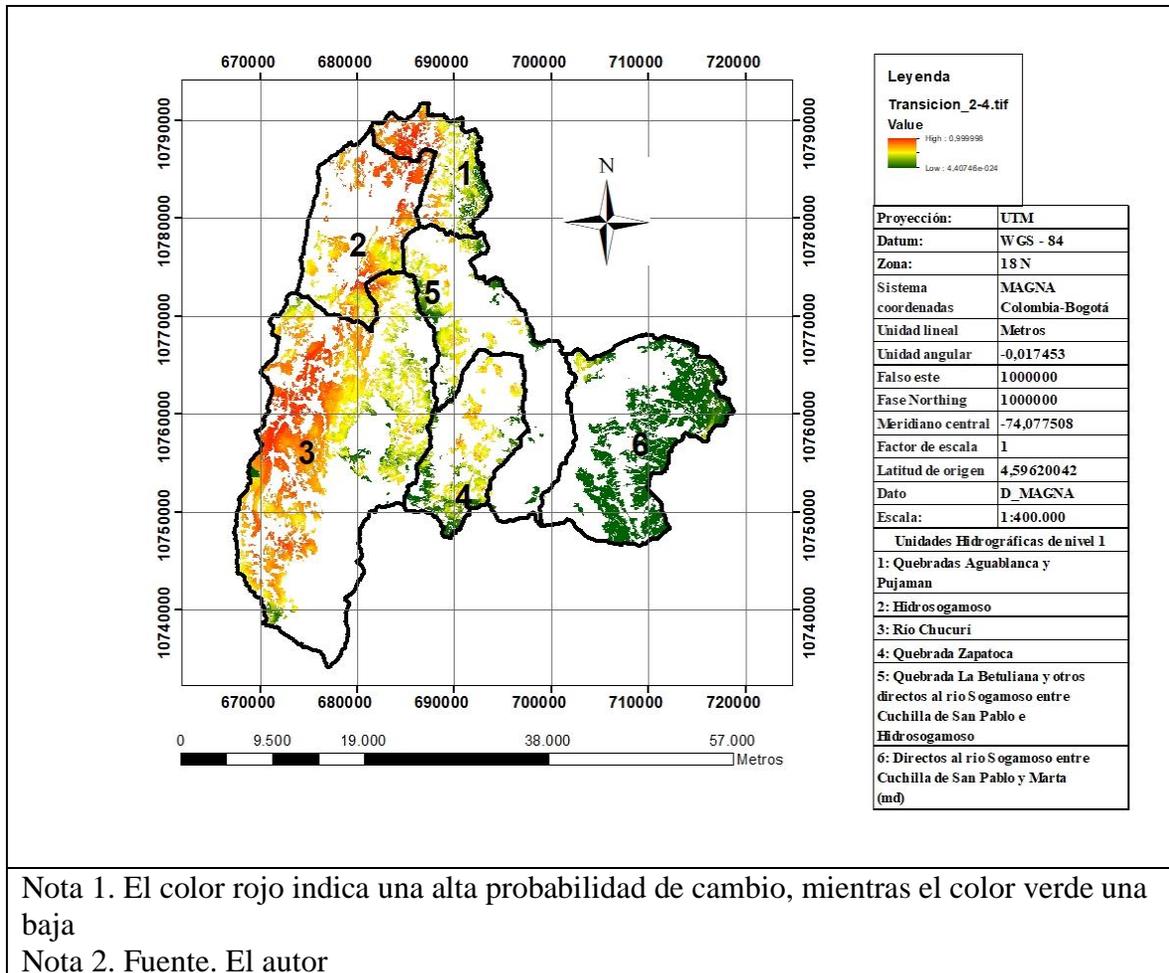
Indicador		2013	2019	Indicador	Estado Indicador	Calificación Estado Indicador		valor final
Área total	TA (ha)	1.616,24	1.515,79	-6,22	No deseable	1	1	
Número de parches	NP	36,50	32,00	-12,33	No deseable	1		
Índice del parche más grande	LPI	0,2	0,2	0,00	Deseable	5		<b>1,89</b>
Área núcleo efectiva	TCA	404,98	390,87	-3,48	No deseable	1	2,33	

Conectividad entre fragmentos	ENN_MN	535,44	705,13	31,69	Deseable	5		
Continuidad Longitudinal	COHESIÃO N	992,01	992,37	0,04	No deseable	1		
Continuidad Altitudinal	RANGO	1842,62	1826,30	-0,89	No deseable	1	2,33	
<b>Arbustal denso</b>								
Indicador		2013	2019	Indicador	Estado Indicador	Calificación Estado Indicador		valor final
Área total	TA (ha)	7.350,12	7.705,76	4,84	Deseable	5	5	
Número de parches	NP	154,00	149,00	-3,25	No deseable	1		
Índice del parche más grande	LPI	0,5516	0,5413	-1,87	No deseable	1		
Área núcleo efectiva	TCA	2.175,48	2.459,70	13,06	Deseable	5	2,33	<b>3,22</b>
Conectividad entre fragmentos	ENN_MN	290,32	181,66	-37,43	No deseable	1		
Continuidad Longitudinal	COHESIÃO N	992,77	992,96	0,02	No deseable	1		
Continuidad Altitudinal	RANGO	2788,95	2966,80	6,38	Deseable	5	2,33	
<b>Arbustal abierto</b>								
Indicador		2013	2019	Indicador	Estado Indicador	Calificación Estado Indicador		valor final
Área total	TA (ha)	4.167,48	3.802,20	-8,77	No deseable	1	1	
Número de parches	NP	73,67	69,67	-5,43	No deseable	1		
Índice del parche más grande	LPI	0,43	0,44	2,33	Deseable	5		
Área núcleo efectiva	TCA	1.290,21	1.112,52	-13,77	No deseable	1	2,33	<b>1,89</b>
Conectividad entre fragmentos	ENN	230,91	209,36	-9,33	No deseable	1		
Continuidad Longitudinal	COHESIÃO N	993,39	993,27	-0,01	Deseable	5		
Continuidad Altitudinal	RANGO	2.165,43	2119,65	-2,11	No deseable	1	2,33	

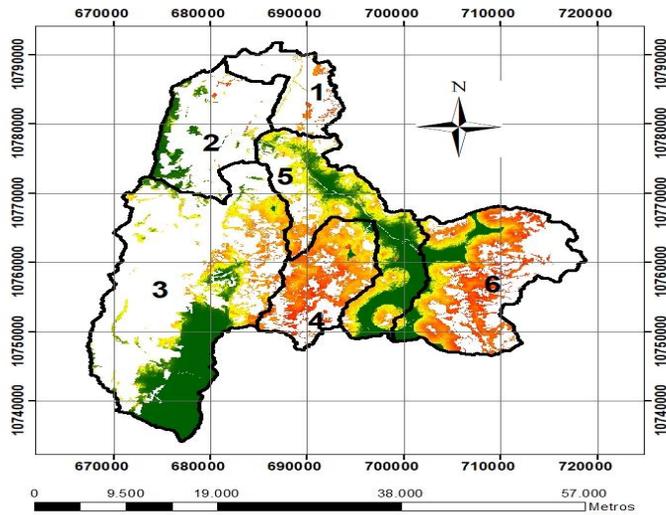
**Nota1.** Fuente: El autor

**Anexo 12. Transiciones Modeladas con Dinámica Ego y su probabilidad de cambio, según escenario futuro**





### Transición 3 a 2 Coberturas vegetales naturales a pastos y cultivos

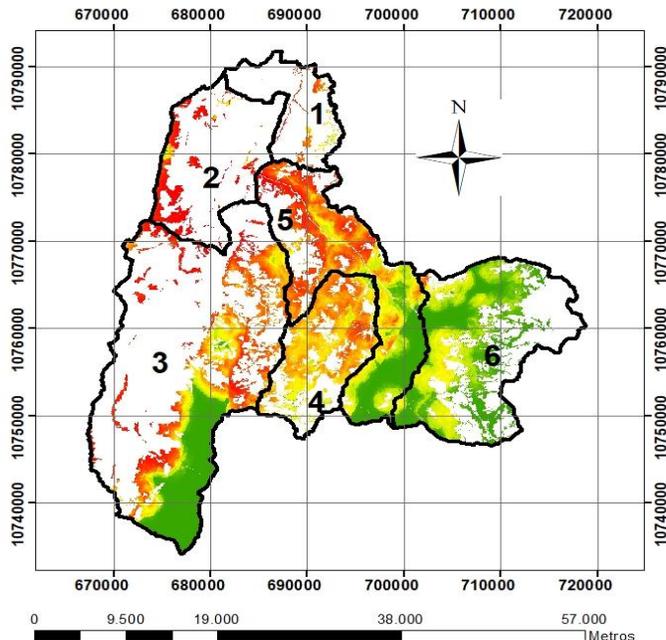


**Leyenda**  
 Transicion\_3-2.tif  
 Value  
 High: 1  
 Low: 0

Proyección:	UTM
Datum:	WGS - 84
Zona:	18 N
Sistema coordenadas:	MAGNA Colombia-Bogotá
Unidad lineal:	Metros
Unidad angular:	-0,017453
Falso este:	1000000
Falso Northing:	1000000
Meridiano central:	-74,077508
Factor de escala:	1
Latitud de origen:	4,59620042
Dato:	D_MAGNA
Escala:	1:400.000

- Unidades Hidrográficas de nivel 1**
- 1: Quebradas Aguablanca y Pujaman
  - 2: Hidrosogamoso
  - 3: Río Chucurí
  - 4: Quebrada Zapatoca
  - 5: Quebrada La Betuliana y otros directos al río Sogamoso entre Cuchilla de San Pablo e Hidrosogamoso
  - 6: Directos al río Sogamoso entre Cuchilla de San Pablo y Marta (md)

### Transición 3 a 4 Coberturas vegetales naturales a Coberturas vegetales naturales seminaturales



**Leyenda**  
 Transicion\_3-4.tif  
 Value  
 High: 1  
 Low: 0

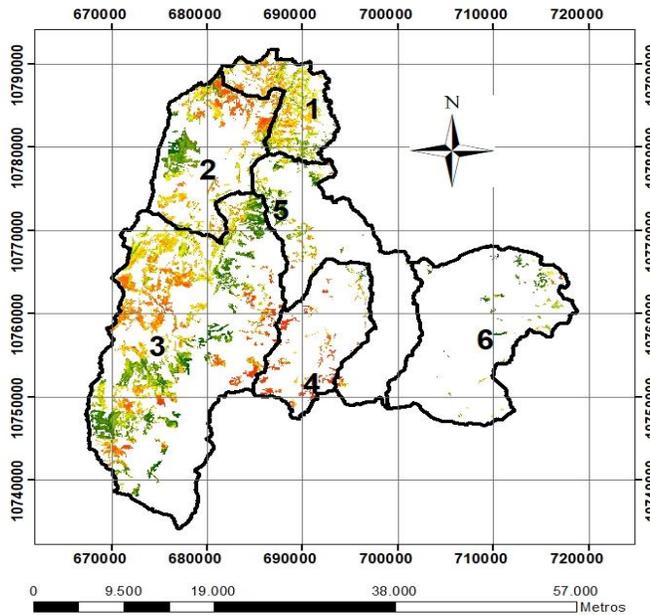
Proyección:	UTM
Datum:	WGS - 84
Zona:	18 N
Sistema coordenadas:	MAGNA Colombia-Bogotá
Unidad lineal:	Metros
Unidad angular:	-0,017453
Falso este:	1000000
Falso Northing:	1000000
Meridiano central:	-74,077508
Factor de escala:	1
Latitud de origen:	4,59620042
Dato:	D_MAGNA
Escala:	1:400.000

- Unidades Hidrográficas de nivel 1**
- 1: Quebradas Aguablanca y Pujaman
  - 2: Hidrosogamoso
  - 3: Río Chucurí
  - 4: Quebrada Zapatoca
  - 5: Quebrada La Betuliana y otros directos al río Sogamoso entre Cuchilla de San Pablo e Hidrosogamoso
  - 6: Directos al río Sogamoso entre Cuchilla de San Pablo y Marta (md)

Nota 1. El color rojo indica una alta probabilidad de cambio, mientras el color verde una baja

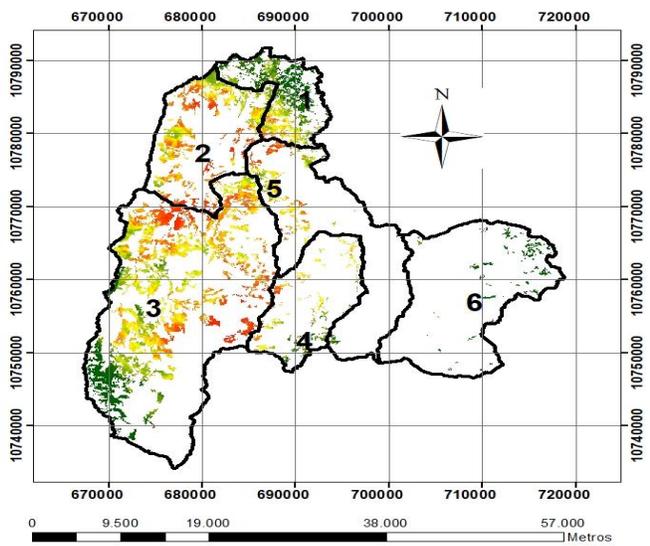
Nota 2. Fuente. El autor

### Transición 4 a 2 Coberturas vegetales seminaturales a pastos y cultivos



Leyenda	
Transicion_4-2.tif	
Value	
High : 1	Low : 0
Proyección:	UTM
Datum:	WGS - 84
Zona:	18 N
Sistema coordenadas:	MAGNA Colombia-Bogotá
Unidad lineal:	Metros
Unidad angular:	-0,017453
Falso este:	1000000
Fase Northing:	1000000
Meridiano central:	-74,077508
Factor de escala:	1
Latitud de origen:	4,59620042
Dato:	D_MAGNA
Escala:	1:400.000
Unidades Hidrográficas de nivel 1	
1: Quebradas Aguablanca y Pujaman	
2: Hidrosogomoso	
3: Río Chucurí	
4: Quebrada Zapatoca	
5: Quebrada La Betuliana y otros directos al río Sogomoso entre Cuchilla de San Pablo e Hidrosogomoso	
6: Directos al río Sogomoso entre Cuchilla de San Pablo y Marta (md)	

### Transición 4 a 3 Coberturas vegetales seminaturales a Coberturas vegetales naturales

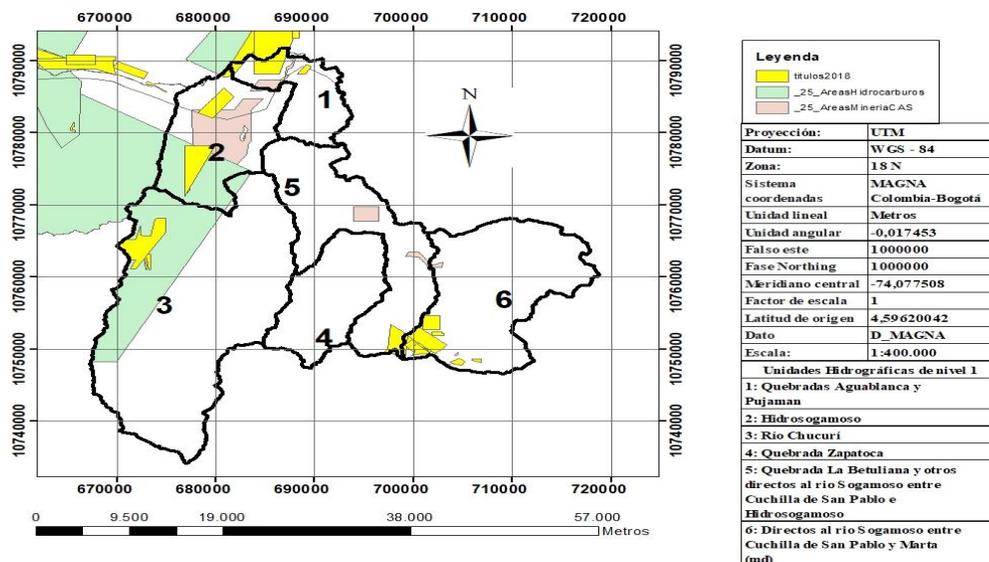


Leyenda	
Transicion_4-3.tif	
Value	
High : 0.9994	Low : 1.14269e-027
Proyección:	UTM
Datum:	WGS - 84
Zona:	18 N
Sistema coordenadas:	MAGNA Colombia-Bogotá
Unidad lineal:	Metros
Unidad angular:	-0,017453
Falso este:	1000000
Fase Northing:	1000000
Meridiano central:	-74,077508
Factor de escala:	1
Latitud de origen:	4,59620042
Dato:	D_MAGNA
Escala:	1:400.000
Unidades Hidrográficas de nivel 1	
1: Quebradas Aguablanca y Pujaman	
2: Hidrosogomoso	
3: Río Chucurí	
4: Quebrada Zapatoca	
5: Quebrada La Betuliana y otros directos al río Sogomoso entre Cuchilla de San Pablo e Hidrosogomoso	
6: Directos al río Sogomoso entre Cuchilla de San Pablo y Marta (md)	

Nota 1. El color rojo indica una alta probabilidad de cambio, mientras el color verde una baja

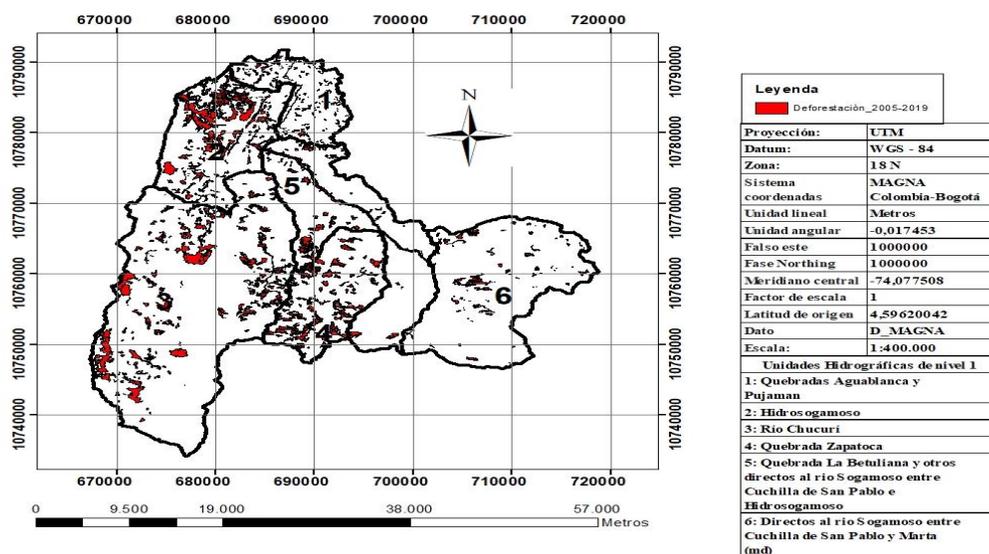
Nota 2. Fuente. El autor

### Anexo 13 Presiones territoriales, crecimiento económico; explotación de hidrocarburos, títulos mineros vigente y en solicitud.



Nota. Fuente: El autor.

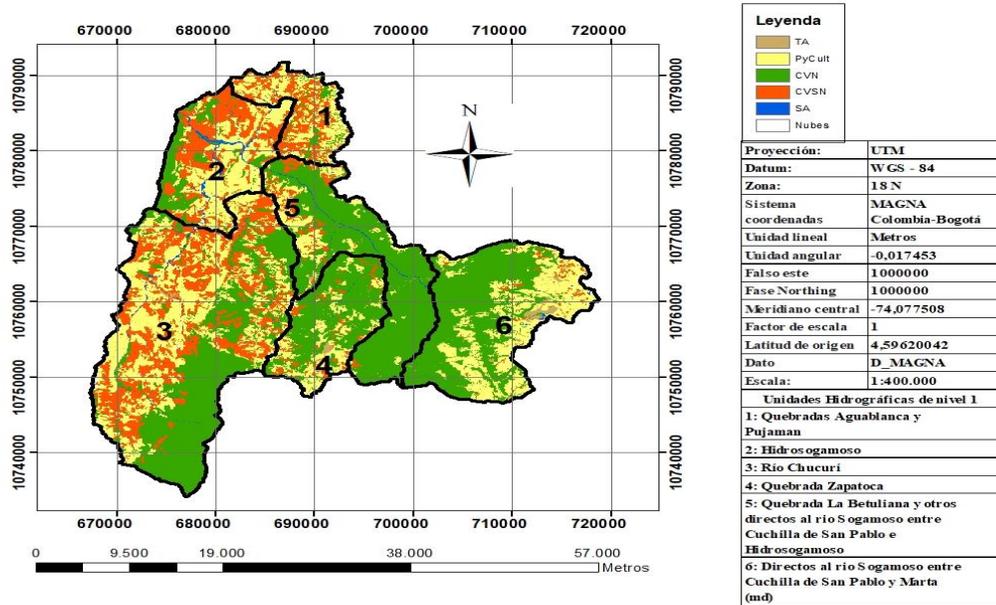
### Anexo 14 Tendencia de la deforestación por UHN1



Nota. Fuente: El autor.

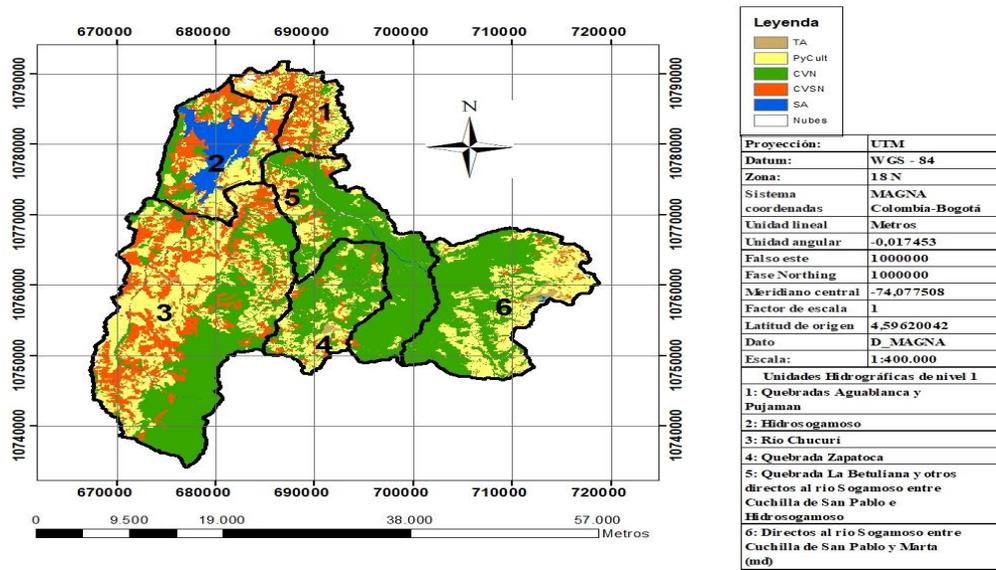
## Anexo 15 Comportamiento de las coberturas vegetales por periodo

**Año 2005**



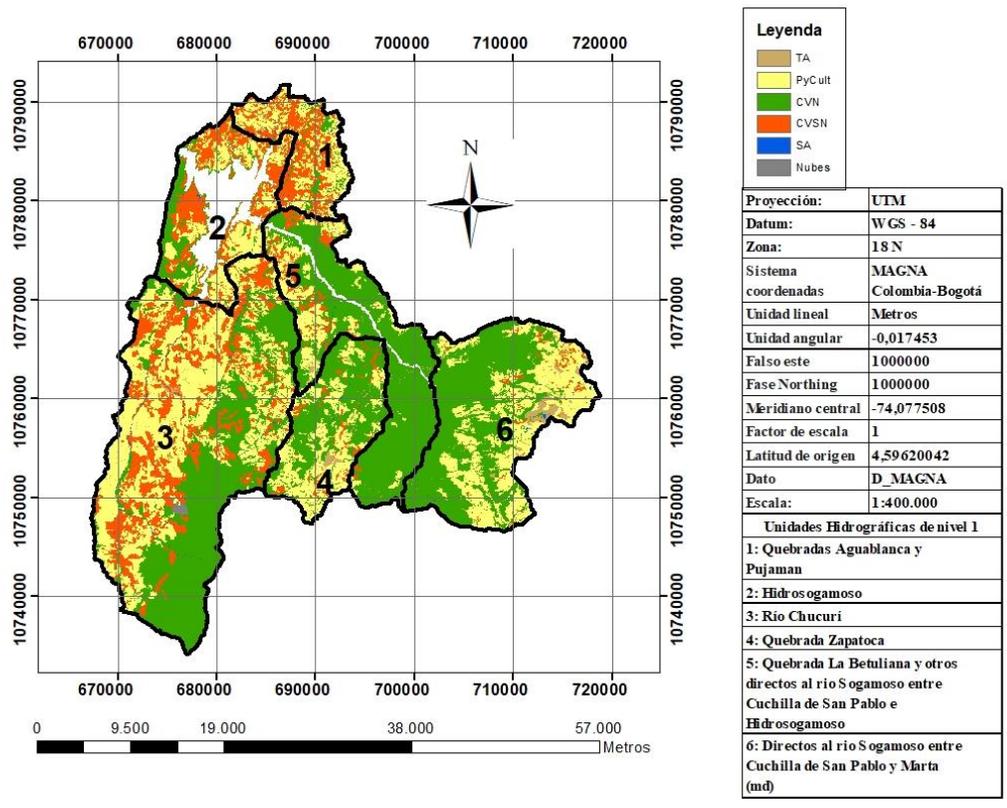
**Nota.** Fuente: El autor.

**Año 2013**



**Nota.** Fuente: El autor.

Año 2019



**Nota.** Fuente: El autor.

## Anexo 16 Principales Acciones por UHN1

UHN1	Principales Acciones
Río Chucurí	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Se deben implementar acciones orientadas a la reforestación, especialmente, la parte media y baja de esta UHN1. Para ello se debe tener en cuenta el tipo de vegetación nativa de la unidad hidrográfica.</li> <li>➤ Al costado izquierdo de dicha UHN1 se encuentran zonas de hidrocarburos. Se recomienda implementar acciones con las empresas que impactan dichas zonas para crear acuerdo de voluntades para reforestar zonas que se consideren prioritarias.</li> <li>➤ Se recomienda fomentar acciones tipo redes de colaboración que involucren a la población civil con la finalidad que cuiden y protejan los bosques para disminuir en la deforestación, especialmente, en la zona alta de la cuenca, las cercanas o alrededores del parque nacional de los Yariguies.</li> <li>➤ Se recomienda hacer estudios de factibilidad para potencializar la aptitud del suelo y/o procesos de reingeniería productiva.</li> <li>➤ Existe la necesidad de implementar acciones de recuperación rondas hídricas principalmente en la parte baja de la cuenca. Se deben tener en cuenta especies nativas para una mayor efectiva del proceso de reforestación o recuperación.</li> </ul>
Directos al Sogamoso	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Es una UHN1 que presenta una mínima o baja deforestación, se recomiendan acciones a recuperar las zonas impactadas, teniendo en cuenta que hay sectores que sufren de estrés hídrico.</li> <li>➤ Es una UHN1 que posiblemente va continuar con procesos de presión poblacional por la dinámica de expansión urbanística y aumento intensivo de la industria avícola, principalmente. SE recomiendan acciones orientadas a crear criterios de sostenibilidad territorial y/o de reingeniería productiva.</li> </ul>
Río La Betuliana	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Es una UHN1 con mínimos impactos de deforestación, principalmente por las condiciones topográficas del terreno. Se recomiendan acciones a recuperar las zonas impactadas teniendo el tipo de vegetación dominante o nativa de la cuenca.</li> <li>➤ Se recomiendan acciones de consenso o de sostenibilidad territorial, teniendo en cuenta, que en esta UHN1 existen licencias de títulos mineros, principalmente.</li> <li>➤ Se deben implementar acciones Institucionales de sostenibilidad territorial, teniendo en cuenta la transformación social y económica que la UHN1 está experimentado en función del turismo.</li> </ul>
Hidrosogamoso	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Es la UHN1 mayor impactada por la deforestación en la parte media y baja. Se deben implementar acciones orientadas a la reforestación teniendo en cuenta el tipo de vegetación nativa.</li> <li>➤ Existe la necesidad de implementar acciones de recuperación rondas hídricas principalmente en la parte alta de la cuenca. Se deben tener en cuenta especies nativas para recuperar las rondas hídricas afectadas.</li> <li>➤ Se recomiendan acciones de consenso o de sostenibilidad territorial, teniendo en cuenta, que en esta UHN1 existen licencias de títulos mineros y de hidrocarburos.</li> </ul>
Río Zapatoca	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Se deben implementar acciones orientadas a la reforestación, especialmente, la parte alta y media con límites de la UHN1 río Chucurí.</li> </ul>

	<p>Para ello se debe tener en cuenta el tipo de vegetación nativa de la unidad hidrográfica.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Se deben implementar acciones Institucionales de sostenibilidad, teniendo en cuenta la transformación social y económica que la UHN1 está experimentado en función del turismo.</li> <li>➤ Se recomienda hacer estudios de factibilidad para potencializar la aptitud del suelo y/o procesos de reingeniería productiva.</li> </ul>
Agua Blanca y Pujaman	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Es la UHN1 altamente impactada por la deforestación en la parte alta, media y baja de la parte occidental o con límites del municipio de Sabana de torres. Se deben implementar acciones orientadas a la reforestación teniendo en cuenta el tipo de vegetación nativa.</li> <li>➤ Existe la necesidad de implementar acciones de recuperación rondas hídricas principalmente en la parte alta, media y baja de la cuenca. Se deben tener en cuenta especies nativas para recuperar las rondas hídricas afectadas.</li> <li>➤ Se recomiendan acciones de consenso o de sostenibilidad territorial, teniendo en cuenta, que en esta UHN1 existen licencias de títulos mineros.</li> <li>➤ Se recomiendan acciones orientadas a una reingeniería productiva, ya que en esta UHN1 predominan los monocultivos de piña, ganadería y productos cítricos.</li> </ul>

#### **Acciones transversales para todas las UHN1.**

- Se recomienda Aplicar acciones y/o programas de educación ambiental y de mejores prácticas, con la finalidad de generar empoderamiento y conciencia ciudadana, para la conservación y protección de las CVN y CVSN.
- Impulsar estudios especializados para la identificación y factibilidad de sitios turísticos en la parte alta del río Sogamoso, para ello se recomienda revisar la ley N0. 1962 del 28 de junio de 2019, la cual dicta “normas orgánicas para fortalecer la Región Administrativa y de Planificación (RAP) y de regiones como Entidades Territoriales (RET)”.
- Impulsar la creación de una red o cadena productiva de productos verdes o de mercado justo con esquemas de economía circular y/o de economía social-solidaria para el mejoramiento de ingresos, empleo rural, diversificación productiva y calidad de vida de los actores sociales involucrados.
- Generar procesos atractivos de inversión local, regional, nacional y extranjera para aprovechar el potencial que las UHN1 adquirieron por la construcción del embalse de “Topocoro-Hidrosogamoso” y la implementación del plan de usos alternativos del embalse.
- Las acciones orientadas a los procesos de reforestación y recuperación de las rondas hídricas, buscan mejorar o aumentar la calidad y cantidad de los SE, especialmente el orientado al recurso hídrico.

Nota. **Fuente: El autor**