

**ANÁLISIS DE LA TRANSFORMACIÓN PAISAJÍSTICA Y ELABORACIÓN DE
ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHICÚ EN
LOS MUNICIPIOS DE TENJO, TABIO Y COTA, CUNDINAMARCA.**

Presentado por:

ANGIE ESMERALDA CANO ROJAS

DIANA CAROLINA RUBIANO GONZÁLEZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

Especialización en Ordenamiento y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas

Bogotá D.C., diciembre - 2021

**ANÁLISIS DE LA TRANSFORMACIÓN PAISAJÍSTICA Y ELABORACIÓN DE
ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHICÚ EN
LOS MUNICIPIOS DE TENJO, TABIO Y COTA, CUNDINAMARCA.**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN
ORDENAMIENTO Y GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

DIRECTORES:

JORGE ALBERTO SÁNCHEZ ESPINOSA

MARTA YOLIMA SÁNCHEZ PEÑA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

Especialización en Ordenamiento y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas

Bogotá D.C., diciembre – 2021

_____ Firma del director

_____ Firma del director

_____ Firma del jurado

_____ Firma del jurado

Bogotá D.C., diciembre – 2021

TABLA DE CONTENIDO

1	PRESENTACIÓN.....	1
2	ANTECEDENTES.....	2
2.1.1	A NIVEL INTERNACIONAL, CUMBRE DE PARÍS (COP21) Y LA INICIATIVA 4 POR 1000.....	2
2.1.2	A NIVEL NACIONAL.....	3
2.1.3	A NIVEL LOCAL, SUBCUENCA DEL RÍO CHICÚ, MUNICIPIOS DE TABIO, TENJO Y COTA	4
3	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	6
4	JUSTIFICACIÓN.....	7
5	OBJETIVOS.....	8
5.1	OBJETIVO GENERAL.....	8
5.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
6	MARCO REFERENCIAL.....	9
6.1	MARCO LEGAL.....	9
6.2	MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	9
6.2.1	ORDENAMIENTO TERRITORIAL.....	9
6.2.2	CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES	10
6.3	AGRICULTURA REGENERATIVA O DE CONSERVACIÓN.....	12
6.3.1	SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	13
6.3.2	CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES.....	14
7	METODOLOGÍA.....	17
7.1	DELIMITACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	17
7.2	ENFOQUE METODOLÓGICO.....	19
7.2.1	MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.....	20
7.3	MÉTODOS.....	20
7.3.1	PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS MULTITEMPORAL MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES PARA DETERMINAR LOS CAMBIOS DE LA COBERTURA VEGETAL Y EL USO DEL SUELO, ASOCIADOS A LOS IMPACTOS EN LOS BIENES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS.....	20
7.3.2	PRIMERA FASE: ADQUISICIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	20

7.3.3	SEGUNDA FASE: PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	22
7.3.4	TERCERA FASE: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	30
8	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
8.1	ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LAS COBERTURAS VEGETALES.....	31
8.2	ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DETECCIÓN DE CAMBIOS.....	36
8.3	ANÁLISIS DEL CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	40
9	MEDIDAS PARA LA CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE LA BIODIVERSIDAD EN LOS ECOSISTEMAS VULNERABLES AL CAMBIO CLIMÁTICO Y DISEÑO DE ESTRATEGIAS EN PRO A LA COMUNIDAD.....	44
10	CONCLUSIONES	47
11	RECOMENDACIONES.....	48
12	BIBLIOGRAFIA	49

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Descripción de las imágenes	22
Tabla 2 Cambios en la cobertura vegetal del área de estudio	31
Tabla 3 cambios en la clasificación de la cobertura	36
Tabla 4 Contenido del carbono orgánico en el suelo en la subcuenca del río Chicú	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Marco legal subcuenca del río Chicú	9
Figura 2 Mapa de la localización geográfica de la subcuenca del río Chicú.....	17
Figura 3 Flujograma de los métodos y técnicas de investigación aplicados	20
Figura 4 Post-SLC Landsat 7 2005	23
Figura 5 Pre-SLC Landsat 7 2005.....	23
Figura 6 Tejido Urbano Continuo (1.1.1.)	25
Figura 7 Otros Cultivos Transitorios (2.1.1.)	25
Figura 8 Cultivos Confinados (2.2.5.).....	25
Figura 9 Mosaico de Pastos y Cultivos (2.4.2.).....	25
Figura 10 Pastos Limpios (2.3.1.).....	26
Figura 11 Bosque Denso (3.1.1.)	26
Figura 12 Bosque Fragmentado (3.1.3)	26
Figura 13 Tierras Desnudas y Degradadas (3.3.3.).....	26
Figura 14 Lagos, Lagunas y Ciénagas (5.1.2.)	26
Figura 15 Mapa de Cobertura vegetal año 2000	32
Figura 16 Mapa de Cobertura vegetal año 2005	33
Figura 17 Mapa de Cobertura vegetal año 2010	34
Figura 18 Mapa de Cobertura vegetal año 2015	35
Figura 19 Mapa de Cobertura vegetal año 2020	36
Figura 20 Cambios de usos del suelo de 2000 al 2005 Fuente: elaboración propia.....	37
Figura 21 Cambios de usos del suelo 2005 al 2010	37

Figura 22 Cambios de usos del suelo 2010 al 2015	37
Figura 23 Cambios de usos del suelo 2015 al 2020	37
Figura 24 Cambios de usos del suelo de 2000 al 2020	38

LISTA DE ABREVIATURAS

AMS	Alianza Mundial por el Suelo
CAEM	Corporación Ambiental Empresarial
CAR	Corporación Regional Ambiental
CLC	Corine Land Cover
CO ₂	Dióxido de Carbono
COP26	Conferencia de las partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
COS	Carbono Orgánico en el Suelo
DTM	Modelo Digital de Terreno
ETM +	Enhanced Thematic Mapper plus
FAO	La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GPS	Global Positioning System
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
MOS	Materia Orgánica del Suelo
ND	Números Digitales
OLI	Operational Land Imager
PMA	Plan de Manejo Ambiental
POMCA	Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas
POT	Plan de Ordenamiento Territorial
SIG	Sistemas de Información Geográficas
SLC	Scan Line Corrector
UMATA	Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria
USGS	United States Geological Survey
UTM	Universal Transversal Mercator

1 PRESENTACIÓN

Al día de hoy el rápido crecimiento que tiene la población mundial ha conllevado a una transformación paisajística y de la diversidad biológica debido a la demanda hídrica y alimentaria. El suelo es fundamental para la producción de alimentos, la regularización del ciclo hidrológico y es quien mantiene la calidad ambiental de los ecosistemas pues están estrechamente relacionados; las problemáticas más evidentes son la deforestación y degradación del suelo por su indebido uso y sobreexplotación, lo anterior por el desarrollo de actividades agropecuarias intensivas, la expansión urbana e infraestructura asociada, además del decrecimiento en la oferta y disponibilidad del recurso hídrico.

Colombia no es ajena a estas dificultades, que, aunque posee una gran variedad de climas y bosques, muchos de ellos se encuentran fragmentados; la deforestación tiene un impacto negativo pues hace que el territorio se haga más vulnerable a sucesos climáticos y por otro lado agudiza la erosión y la sedimentación de las cuencas hidrográficas. También es de mencionar que los cambios en las coberturas del suelo y la degradación de estos aportan al calentamiento global e igualmente esto implica una reducción en el carbono orgánico del suelo.

En la actualidad la ampliación en la urbanización, la falta de planeación y ordenamiento territorial hacen que no se fomente el uso adecuado de la tierra, el no tener en cuenta la concordancia entre vocación y uso desencadena conflictos socioeconómicos y ambientales que se manifiestan a través de la baja producción de alimentos, crecimiento de la pobreza y la migración de la población asentada en las áreas rurales a centros poblados.

La subcuenca del río Chicú es de alta importancia para los municipios de Tabio, Tenjo y Cota ya que a su alrededor se desarrollan actividades representativas como la agricultura, la ganadería, la producción de flores, entre otras. A partir de dicha perspectiva el presente trabajo consiste en realizar un análisis multitemporal el cual tiene como objetivo evaluar mediante los sistemas de información geográfica los cambios de uso del suelo y cobertura vegetal ocurridos durante los periodos 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020 a través de la interpretación de imágenes satelitales; seguidamente, se encontró una conexión directa entre las actividades económicas (agricultura y ganadería) en el área de estudio y el cambio de coberturas vegetales, pues se asocian a la deforestación, la urbanización y la degradación del suelo que provoca la pérdida del carbono orgánico, contribuyendo al cambio climático. Posteriormente, se elaboró una investigación identificando el potencial del carbono orgánico en el suelo de la subcuenca del río Chicú y las acciones que deterioran su captación y fijación, además de las problemáticas y prácticas que favorecen detrimento en la biodiversidad.

Los resultados obtenidos de este proyecto sirven de herramienta para tomar decisiones razonables, mediante el diseño de nuevas estrategias que promuevan acciones de conservación y uso sostenible de los recursos naturales, garantizando la integridad ambiental de la subcuenca.

2 ANTECEDENTES

En el marco de antecedentes se mencionan algunas investigaciones y proyectos desde la perspectiva internacional, nacional y local, que tienen como base temas relacionados a la transformación paisajística y la conservación del ambiente.

Como punto de partida se hace necesario tener en cuenta la importancia a nivel mundial de la relación entre el cambio climático y la sostenibilidad, según estudios realizados por la FAO (FAO, Cambio Climático, El Impacto en la Agricultura y los Costos de Adaptación, 2009), para el año 2050 habrá más de nueve mil millones de personas en el planeta, quienes están deteriorando diariamente el medio ambiente e incrementando la pobreza y la vulnerabilidad al tratar de satisfacer sus necesidades; Dicho esto, las actividades humanas, tienen una influencia en el cambio climático, pues perpetúan la alteración de la atmósfera mundial y la variabilidad natural del clima por medio de emisiones antropogénicas de gases invernadero. Por tanto, es necesario tener en cuenta la importante relación que existe entre la equidad social, la protección del medio ambiente y el desarrollo económico (J Gonzalez & Veroz, 2018).

2.1.1 A NIVEL INTERNACIONAL, CUMBRE DE PARÍS (COP21) Y LA INICIATIVA 4 POR 1000

La pérdida de suelos completamente funcionales es crítica en muchos sentidos. Tal vez lo más obvio es que los suelos son útiles para el cultivo de alimentos, pero también alivian las inundaciones y las sequías. Pero un suelo degradado impacta en la producción de alimentos, la erosión y más, afectando la vida de las personas en todo el mundo.

Dentro de las negociaciones de la cumbre de París celebrada en diciembre del año 2015 y firmada por 195 países, quienes se vincularon al acuerdo mundial del clima, cuyo propósito era el de prevenir que la temperatura del planeta aumentará 2°C. De ahí que, en el año 2021, se trataron temas de restauración de tierras agrícolas que se encuentran degradadas y el aumento en la tasa del carbono en el suelo, además de la habituación de las personas al cambio climático, con nuevos sistemas alimentarios y la mitigación de las emisiones de gases invernadero.

Dentro del marco de esta cumbre, se lanzó la “iniciativa 4 por 1000: Suelos para la seguridad alimentaria y el clima” la cual esta se enfoca en mejorar el contenido de materia orgánica a través del crecimiento anual del (0,4%) del carbono orgánico en el suelo, lo anterior, por medio de la aplicación de prácticas agrícolas que se adapten según la ubicación, los aspectos ambientales y sociales del área. Así pues, se preservará la riqueza de los suelos y la seguridad alimentaria, al mismo tiempo que las personas serán capaces de adaptarse al cambio climático y atenuar sus efectos (J Gonzalez & Veroz, 2018).

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito, el suelo es factor importante para capturar carbono en un clima que cambia rápidamente. Por lo tanto, es fundamental mantener ese alto aumento en el contenido de carbono orgánico del suelo ya que fomenta en gran medida la fertilidad y la salud del suelo, generando muchos beneficios para los agricultores de todo el mundo.

2.1.1.1 RESTAURACION ECOLOGICA DE LA MESETA DE LOSS -CHINA

La meseta de Loess se encuentra en el noroeste de China y cubre un área total de aproximadamente 640 000 km², que representa el 6,6 % del territorio. La Meseta era conocida hace siglos como una de las áreas agrícolas clave ya que sus suelos ricos en nutrientes alimentaban la cuarta parte del país, además se caracterizaba por sus pastizales y bosques. Sin embargo, miles de años de deforestación y sobreexplotación el pastoreo generado por el aumento de la población

que ascendió a 50 millones de personas empeoró los problemas, esto resultó en un impacto hacia los ecosistemas presentes allí, toda vez que dejaron los antiguos pastizales degradados y erosionados dificultado gravemente el desarrollo socioeconómico en la Meseta. La producción de alimentos se redujo, las vías fluviales se llenaron de sedimentos y el aire en ciudades lejanas sufrió tormentas de arena nacidas en la Meseta de Loess (Jiao, Zhang, & Bai, 2010).

Durante un largo período, la producción agrícola de la Meseta fue débil e inestable lo que, junto con el aumento de la población, provocó escasez de alimentos y empobrecimiento de la población. El Gobierno Central ha realizado esfuerzos incansables, promulgando una serie de políticas y medidas para impulsar la restauración local de ecosistemas degradados y mejorar los medios de vida de las personas.

La restauración comenzó con importantes inversiones del gobierno chino para salvaguardar los recursos hídricos, garantizar la seguridad alimentaria y promover el desarrollo rural sostenible. Esto fue parte de una inversión nacional de US\$100 mil millones en seis programas de restauración forestal, cubriendo 76 millones de hectáreas de tierra en más del 97 por ciento de los condados de China.

En ese orden de ideas, para revertir las graves degradaciones ecológicas, especialmente la pérdida significativa de agua y la erosión del suelo, el gobierno chino inició una serie de importantes proyectos de ingeniería ecológica para controlar el medio ambiente, “El Proyecto Grain for Green” y el Proyecto “Gully Land Consolidation” que transformaron conjuntamente la ecología y el paisaje de la meseta de Loess y el sustento de sus residentes. Los hallazgos muestran que estos dos proyectos han logrado un equilibrio entre la protección verde, la creación de nuevas tierras y la mejora de la seguridad alimentaria y los medios de subsistencia de la población local en las zonas montañosas de China, reduciendo la erosión en 100 millones de toneladas de sedimentos al año, disminuyendo el riesgo de inundaciones y aumentando drásticamente la producción de cereales (Jiao, Zhang, & Bai, 2010).

2.1.2 A NIVEL NACIONAL

2.1.2.1 PLAN NACIONAL DE DESARROLLO. IV PACTO POR LA SOSTENIBILIDAD: PRODUCIR CONSERVANDO Y CONSERVANDO PRODUCIENDO.

Para el cuatreno del año 2018 al 2022, se estipuló dentro del Plan Nacional de Desarrollo el numeral IV Pacto por la Sostenibilidad, el cual busca lograr un equilibrio entre la conservación de los recursos naturales, su uso adecuado y la producción de bienes y servicios ecosistémicos de manera responsable en Colombia.

Lo anterior se aplica a través de una gestión integral que adopta los Objetivos de Desarrollo Sostenible estipulados por las Naciones Unidas en la Cumbre de París COP201, enfocándose en consolidar la biodiversidad y riqueza natural del país como un activo de economía circular. Por lo cual denota el fortalecimiento y compromiso del sector público y privado incluyendo a la sociedad civil y a entes internacionales, desarrollando acciones estratégicas como la implementación de tecnologías, dinámicas sustentables o alternativas productivas que contrarresten la transformación paisajística sobre el territorio nacional dada por actividades agrícolas, industriales o urbanas que conllevan a la deforestación, la degradación de ecosistemas, la erosión del suelo, la contaminación de fuentes hídricas, e impactos ambientales sobre la flora y fauna. Adicionalmente se estipulan prácticas sostenibles que contribuyen en la acción contra el cambio climático y la disminución de emisiones de carbono (Duque, 2018).

2.1.2.2 APOYO EN LA VALORACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DISPUESTAS EN LAS ÁREAS DE PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN DE LA JURISDICCIÓN DE CORPOGUAVIO, EN TORNO A LA MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO.

Este estudio realizado por la Corporación Autónoma Regional del Guavio se enfocó en establecer acciones que aportaran a la conservación y protección ambiental de áreas protegidas o de relevancia ecosistémica dentro de la Reserva Forestal Protectora Regional de la cuenca alta del río Zaque, ubicada entre los municipios de Gacheta y Junín en el departamento de Cundinamarca.

Dicho proyecto estimó y calculó la efectividad de estrategias de conservación y planes de manejo dirigidos a mitigar los impactos ambientales sobre la biodiversidad, los recursos hídricos, la transformación del paisaje y la adaptación al cambio climático; Esto por medio de análisis multitemporales que permiten realizar un seguimiento de los cambios en las coberturas vegetales, ayudados de un proceso de zonificación ambiental sobre las áreas de la reserva que contienen un potencial de fijación del carbono orgánico en el suelo.

2.1.3 A NIVEL LOCAL, SUBCUENCA DEL RÍO CHICÚ, MUNICIPIOS DE TABIO, TENJO Y COTA

En el municipio de Tenjo, Cundinamarca, se destacan los esfuerzos realizados por la administración municipal en el cuatrienio de 2016-2019, en el cual se lleva a cabo la firma del convenio 003 del 2018 con el país Vasco-empresa Basoina y la secretaria de cooperación de la Gobernación de Cundinamarca, llamado “Restauración ecológica de la ronda del río Chicú, implementando la posibilidad de un sendero ecoturístico a lo largo de sus 16 km lineales-proyecto piloto” (Contraloría de Cundinamarca, 2019).

El proyecto en mención, ha mostrado avances, en los cuales se ha limpiado y dragado el río Chicú y algunas quebradas; también se han hecho capacitaciones con variados temas ambientales, dirigidos a los estudiantes de los colegios del municipio. Sin embargo, este esfuerzo no ha sido suficiente, pues en cierta medida la administración municipal debe intervenir de manera más efectiva en la subcuenca, pues no poseen plan de manejo ambiental (PMA) y muchos de los sectores de la población están inconformes con la actualización del plan de manejo y ordenamiento de la subcuenca del río Chicú (Corporación Autónoma Regional, 2006).

Lo anterior ha generado conflictos dentro de la comunidad, pues el río pasa por al menos 135 predios privados, de estos pocos se han unido al programa de “Familias Guarda Cuencas”, que busca restaurar, conservar y sembrar árboles nativos en la ronda del río. La resistencia de la población a los programas ambientales, se da principalmente por el cambio de las dinámicas de subsistencia, y al impacto socioeconómico que estas actividades podrían traer; la escasa comunicación entre los actores han hecho que algunos como la Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR) desista de intervenir en algunos sectores de la población por no llegar a concertar los planes ambientales con respecto a la actualización del POMCA (Contraloría de Cundinamarca, 2019).

Además, desde el año 2013, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), con la ejecución de la Corporación Ambiental Empresarial (CAEM), están implementando el programa de cálculo de huella de carbono con algunos municipios piloto, entre ellos Tenjo, realizando inventarios de la emisión de gases invernadero producidos por los sectores industrial, residencial, comercial, transporte, agropecuario, residuos y el cambio de uso del suelo. Para el municipio de Tenjo, se tiene en cuenta principalmente el aprovechamiento de los residuos orgánicos para disminuir la emisión de metano y el uso compartido de bicicletas para disminuir la emisión del CO₂ (CAEM, 2017).

Otro caso, es un estudio realizado en la subcuenca del río Chicú por la Universidad Militar Nueva Granada, el cual consiste en la formulación de alternativas para la recuperación ambiental de la subcuenca del río Chicú en el municipio de Tenjo. Para diseñar estas estrategias, se trabajó con una metodología que se basa en el análisis multitemporal a partir de imágenes satelitales, identificando las zonas más afectadas y sus impactos sobre el paisaje. Del mismo modo, se desarrollaron trabajos en campo, mediante recorridos y socialización con los habitantes del municipio, con el propósito de conocer la situación actual de la subcuenca, sus principales actividades económicas y los impactos por los cuales se ha visto afectada la comunidad (González Bulla, 2017).

Como resultado, en las zonas identificadas se encontraron impactos paisajísticos asociados a las actividades antrópicas como el crecimiento urbano y la deforestación, donde se observa una notable pérdida del espejo de agua a causa del cambio de la cobertura y usos del suelo, afectando la disminución de la oferta hídrica, flora, fauna y servicios ecosistémicos (González Bulla, 2017).

De acuerdo a lo anterior, se formularon propuestas de recuperación a corto, mediano y largo plazo en la subcuenca del río Chicú, al implementar desde la administración municipal en conjunto con la comunidad estrategias de conservación para los recursos naturales de las zonas afectadas, que permitan apoyar la toma de decisiones asegurando la oferta de los servicios ambientales (González Bulla, 2017).

Por último, en el Municipio de Cota se adoptó una política pública ambiental por parte de la Alcaldía Municipal, en donde prima la protección, recuperación y conservación del recurso hídrico y los cuerpos de agua, así como, el fomento de la educación, conciencia ambiental y participación ciudadana que contribuya a solucionar las problemáticas ambientales y conlleven a promover el desarrollo sostenible en los diferentes sectores productivos (Moreno Gómez, 2016).

3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

A través de los años se ha evidenciado un impacto negativo por la transformación paisajística que ha tenido la subcuenca del río Chicú, debido al deterioro de los recursos naturales que la componen, por causa del desarrollo de actividades económicas y malas prácticas de subsistencia que se extienden alrededor de esta.

Lo anterior, acarrea conflictos por el uso de la tierra, con un aumento en la frontera agrícola, la producción pecuaria, la producción industrial y la expansión urbana, contribuyendo así a la deforestación, al deterioro de las fuentes hídricas, a la pérdida de la calidad y vocación del suelo, vulnerando los recursos de la subcuenca. A esto se suma la problemática socio ambiental que se presenta en dicha área, toda vez que los actores que intervienen en el río, han perdido su interés y sentido de pertenencia del espacio natural que provee este hábitat, desde su aprovechamiento sostenible, económico y cultural generando alteraciones directas en la disponibilidad del agua, la flora y la fauna, así como, en la sostenibilidad de los ecosistemas y la biodiversidad.

Por lo tanto, se hace necesario garantizar la sostenibilidad de los recursos naturales dentro de la subcuenca del río Chicú, realizando un análisis comparativo del cambio paisajístico del área, a través del diseño de estrategias que tengan como objetivo establecer buenas prácticas de manejo forestal, el uso adecuado del recurso hídrico, agricultura de conservación, la producción sostenible de alimentos, la planeación del desarrollo y crecimiento poblacional, el incentivo socio cultural y la adaptación al cambio climático dentro de la subcuenca.

4 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, la subcuenca del río Chicú presenta una transformación paisajística a causa del deterioro ambiental de sus recursos naturales, fundamentado en las actividades económicas que se llevan a cabo, al igual que el cambio de usos de suelo que propicia la expansión urbana. Se especifican problemáticas como la contaminación en fuentes hídricas y suelo, originadas de la producción agrícola y pecuaria, estas actividades también se relacionan con la erosión y deforestación por las prácticas culturales de subsistencia.

Dentro de las amenazas a tener en cuenta en el área de la subcuenca también se destacan el crecimiento de la población en los municipios de Tenjo, Tabio y Cota, así como, la falta de planeación territorial, el deficiente suministro de agua potable y el tratamiento inapropiado de los residuos sólidos que contaminan. Ciertamente esto denota un impacto en la calidad del agua y debilita la flora y fauna (Corporación Autónoma Regional, 2006).

Por tal razón, este proyecto propone realizar un análisis de la transformación paisajística mediante un comparativo multitemporal en un periodo de veinte (20) años, que permita identificar los cambios en las coberturas vegetales y las actividades de subsistencia que generan impactos ambientales en el área de estudio. De igual manera se hace necesario elaborar y promover estrategias de conservación basadas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible agenda 2030, con un enfoque ambiental, político, económico y social que salvaguarden los recursos naturales de la subcuenca del río Chicú y que permitan dar solución a la problemática.

5 OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la transformación del paisaje y diseñar estrategias de conservación en la subcuenca del río Chicú, para los municipios de Tabio, Tenjo y Cota Cundinamarca.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis multitemporal mediante imágenes satelitales para determinar los cambios de la cobertura vegetal y el uso del suelo asociados a los impactos en los bienes y servicios ecosistémicos.
- Determinar los valores del carbono orgánico mediante el análisis de las coberturas vegetales y prácticas de subsistencia desarrolladas en la subcuenca del río Chicú.
- Establecer medidas para la conservación y protección de la biodiversidad en los ecosistemas vulnerables al cambio climático dentro de la subcuenca del río Chicú.
- Diseñar estrategias en pro a la comunidad de la subcuenca del río Chicú, desde la perspectiva social, económica, política y ambiental, encaminadas al desarrollo sostenible, adaptación al cambio climático y seguridad alimentaria.

6 MARCO REFERENCIAL

6.1 MARCO LEGAL

En la Figura 1 se observa el marco legal que rige sobre la subcuenca del río Chicú.

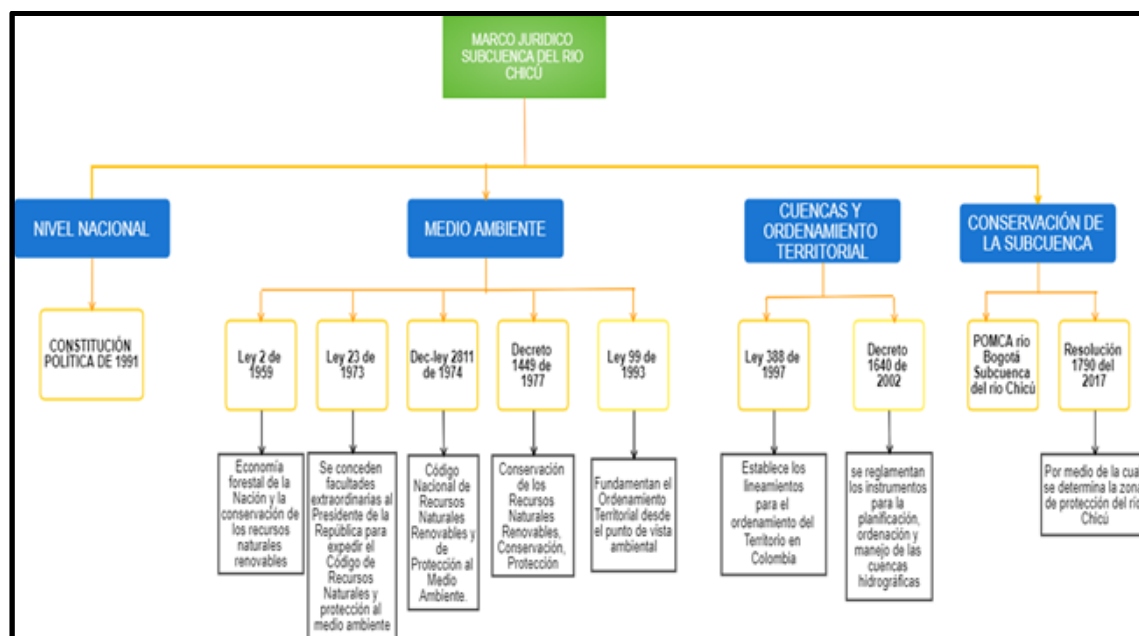


Figura 1 Marco legal subcuenca del río Chicú
Fuente: Elaboración propia

6.2 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

6.2.1 ORDENAMIENTO TERRITORIAL

- ¿Qué es el Ordenamiento Territorial?

El Ordenamiento Territorial tiene como propósito establecer la planificación y organización de manera sostenible en el territorio según su desarrollo social, económico, ambiental y cultural. A su vez de acuerdo con lo dispuesto en la Ley 388 de 1997, se define el POT (Plan de Ordenamiento Territorial) como la herramienta base usada por el estado para administrar y organizar el suelo urbano y rural del territorio nacional (objetivos, normas, políticas y programas), esto según las actividades productivas, los asentamientos de la población, zonas de riesgo y áreas de protección ambiental (Camara de Comercio de Bogotá, 2020).

- Aspectos fundamentales en el Ordenamiento Territorial y manejo de cuencas

Teniendo en cuenta el marco normativo de la ley 388 de 1997 y la ley 99 de 1993, una cuenca hidrográfica se establece como una unidad apropiada para la organización ambiental del territorio, esto involucra al ordenamiento territorial en el componente ambiental. Lo anterior permite determinar problemáticas en el área rural, generando instrumentos para el uso adecuado del suelo dentro de los asentamientos rurales y la cabecera municipal. Del mismo modo, las CAR (Corporaciones Autónomas Regionales), tienen la competencia para ejecutar Planes de Manejo y Ordenamiento de Cuenca- POMCA, siendo una herramienta que planea y administra el uso apropiado de los recursos naturales renovables a nivel de cuenca (Ministerio de Ambiente, 2014).

- Cuenca hidrográfica

Partiendo de las definiciones dadas en el Decreto 1640 del 2012 y el (IDEAM, Zonificación y Codificación de Unidades Hidrográficas e Hidrogeológicas de Colombia, 2013) hidrológicamente la cuenca es un área desde la cual la escorrentía fluye hacia un punto en el sistema de drenaje. Cada arroyo, afluente o río, está asociado a una cuenca hidrográfica, donde se integran las interrelaciones entre los recursos naturales y la actividad humana. Los servicios ecosistémicos en una cuenca, juegan un papel crucial en la determinación de alimentos y en la socio-economía, proporcionando un soporte vital a la población rural (Presidente de la Republica, 2012).

- POMCA

De acuerdo al Decreto 1729 de 2002 derogado por el Decreto 1640 de 2012, se reglamenta el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica- POMCA, el cual es un instrumento que está articulado con el Plan de Ordenamiento Territorial -POT, lo que indica que el buen manejo de una cuenca se identifica como una estrategia de contribución al ordenamiento territorial (Presidente de la Republica, 2012).

A través del POMCA se realiza la planeación, orientación y organización del uso del agua, el suelo, la flora, la fauna y otros recursos naturales en el manejo de la cuenca, con el fin de proporcionar los bienes y servicios deseados sin afectar adversamente al medio ambiente y sus ecosistemas. Además, involucra una serie de factores espaciales y sociales, que permiten las estrechas interrelaciones entre el uso de la tierra, la protección del suelo y el equilibrio del ciclo del agua, así como en los vínculos río arriba-río abajo (Presidente de la Republica, 2012).

6.2.2 CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

- ¿Qué es la conservación?

La responsabilidad del planeta depende de la humanidad, si queremos un mundo sostenible para las generaciones futuras es importante hacer uso racional de nuestros recursos, así mismo preservarlos y conservarlos. De acuerdo Aldo Leopold “la conservación es un estado de armonía entre el hombre y la naturaleza”, en término general, es lo que nosotros como seres humanos hacemos para proteger nuestro planeta, mediante la administración y protección de los recursos naturales para el beneficio de población actual, así como, la utilización social y económica sostenible. Además, la conservación es una forma de vida que va en contra de las prácticas irresponsables de las grandes empresas y corporaciones (Leopold & Riechmann, 2017).

- Conflictos en la conservación

Los conflictos por conservación son problemas difíciles de enfrentar, aumentando cada día su intensidad a nivel mundial, generando un impacto negativo en la biodiversidad, medios de vida y el bienestar humano. Los países que imponen políticas ambientales de conservación para áreas protegidas, son constantemente incumplidos. Particularmente, en países donde el estado cuenta con un gobierno débil con altos niveles de corrupción, y abundan los problemas sociales como; la pobreza, la desigualdad y el desequilibrio de poder.

La importancia de la formulación y cumplimiento de las políticas de conservación más los espacios de socialización, son fundamentales para la solución de conflictos entre actores e implementación de nuevas estrategias que permitan la participación de los actores locales en la toma de decisiones, favoreciendo procesos de empoderamiento y mayor injerencia en las propuestas de desarrollo. Del mismo modo, estas políticas son un proceso de regulación y legitimación, que tienen como objetivo, la participación política y la implementación de un conjunto de estrategias organizacionales para fomentar y orientar la recuperación, protección y

mejoramiento de los recursos naturales mediante acciones de coordinación que favorezcan al manejo integral y sostenible del ecosistema (FAO, 2001).

- Conservación en la Subcuenca del Río Chicú

La subcuenca del río Chicú posee un ecosistema rico naturalmente, lo que constituye la base de su oferta natural en materia de bienes y servicios. Alrededor se realizan diferentes actividades económicas como cultivos, ganadería e industrias que hacen uso de los recursos como el agua y el suelo, permitiendo contar con una amplia gama de oportunidades de desarrollo para el bienestar de la población (FAO, 2001). La subcuenca al ser un lugar donde conviven múltiples actores con diversos intereses, en los últimos años, han abusado de los servicios ambientales que les ofrece el ecosistema, ya que el uso irracional, la falta de cultura y de apropiación de estos recursos, ha generado un cambio significativo en la hidrología de la subcuenca, al igual que en la cobertura y el suelo, a causa de las transformaciones por actividades antrópicas, deforestación, alteraciones climáticas y urbanización por crecimiento poblacional, encontrándose directamente relacionadas con las actividades socioeconómicas y aprovechamiento de estos recursos.

En consecuencia, la Corporación Autónoma Regional -CAR expide la resolución 1790 de 2017 por medio de la cual se determina la zona de protección del Río Chicú, al plantear la necesidad de lograr una gestión integral que les permita a las instituciones, el estado, la sociedad civil, gobiernos locales y pueblos indígenas, tener una visión prospectiva con el fin de evitar un deterioro ambiental en la subcuenca y fomentar la preservación y conservación del ecosistema. Además de obtener un mayor sentido de pertenencia de los recursos, así como, un desarrollo sostenible y sustentable mediante un manejo integrado de las comunidades de los municipios de Tenjo, Tabio y Cota (CAR, 2017).

- El carbono orgánico en el suelo (COS)

El carbono orgánico del suelo (COS), se encuentra en el suelo posterior a la descomposición de vegetación y animales, producida por microorganismos heterótrofos dando paso a la formación de materia orgánica en el suelo (MOS). Por otro lado, el carbono orgánico también integra el ciclo global del carbono, el cual circula de manera constante en las reservas a nivel mundial encontrándose presente en el suelo, la vegetación, el océano y la atmósfera.

Es preciso señalar que el carbono orgánico (COS) es el componente más relevante de la materia orgánica del suelo (MOS), esta depende de factores como la temperatura del suelo y la cantidad de agua que contenga, para así renovarse constantemente produciendo nutrientes primordiales que aseguran la fertilidad, formando un equilibrio entre el ecosistema del suelo y la producción de alimentos. Respecto a lo anterior, la captación de carbono orgánico en el suelo (COS), es un proceso en el cual el carbono se fija desde la atmósfera por medio de organismos heterótrofos y se almacena en el suelo; así mismo, la retención de carbono orgánico posee tres etapas: la primera consiste en extraer el CO₂ de la atmósfera por medio de la fotosíntesis de las plantas, en la segunda etapa se transfiere el CO₂ a la biomasa vegetal y por último, se cede la biomasa vegetal al suelo en donde se almacena como carbono orgánico.

Por consiguiente, el suelo es el principal reservorio de carbono orgánico, pero este va ligado a factores ambientales, como las condiciones climáticas, la geología y el uso adecuado del territorio, razón por la cual en lugares donde las temperaturas son más bajas, hay más reserva de carbono, pues la materia orgánica tiene una descomposición más lenta; por consiguiente, el suelo se puede convertir en un sumidero o en una fuente de gases de efecto invernadero (GEI) dado que recibe los impactos del flujo antropogénico del carbono contribuyendo al calentamiento global. Dentro de los gases de efecto invernadero (GEI) que emite el suelo a la atmósfera por condiciones antropogénicas encontramos el dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄), adicionalmente por actividades agrícolas y pecuarias también se despiden óxido nitroso (N₂O) (FAO, 2017).

- Cobertura vegetal y carbono orgánico

La acumulación de carbono en el suelo, obedece a varios factores, entre ellos se mencionan los más importantes como lo son la cobertura vegetal, el relieve, el suelo, el agua y los microorganismos; también dentro del flujo de carbono inciden la pendiente, la exposición de la ladera y la cubierta vegetal, que a su vez interactúan con procesos físico químicos.

La vegetación juega un papel relevante dentro de los suelos forestales, pues al descomponerse se convierte en materia orgánica, aportando nutrientes que aumentan el rendimiento y la fertilidad del suelo, pues el carbono orgánico en el suelo (COS) se encuentra mayormente en los primeros 30 cm a 100 cm, haciendo que el ecosistema esté provisto de vegetación. Los problemas surgen cuando se cambia el uso del suelo, en donde se reemplaza la vegetación boscosa por pastizales, dado que, se altera la calidad del suelo y la reserva de carbono orgánico en el suelo (COS), que se usa de manera natural para mitigar el cambio climático y la producción de gases invernadero (Reyes, Acevedo, & Hernández, 2019).

Continuando con la problemática, el despojar el suelo de la vegetación, acarrea una pérdida de carbono orgánico en el suelo (COS) y erosión, lo anterior no solo afecta a la biodiversidad y el almacenamiento de agua, también pone en peligro la producción alimentaria, debido a las malas prácticas agropecuarias usadas por los humanos (FAO, 2018).

6.3 AGRICULTURA REGENERATIVA O DE CONSERVACIÓN

La agricultura regenerativa o de conservación, consiste en aplicar un sistema agrícola que permita prevenir la pérdida de las propiedades del suelo; Este sistema también busca, regenerar las tierras degradadas, a través del mantenimiento constante de la cobertura vegetal, sin generar grandes cambios en el suelo, contribuyendo a la expansión en la variedad de plantas, aumenta la biodiversidad, el uso eficiente del agua y los nutrientes, tanto en la superficie como al interior del suelo, favoreciendo el rendimiento agrícola sostenible. Dentro de la agricultura de conservación se aplican tres principios, estos se basan en ejecutar buenas prácticas agrícolas sobre el uso de la tierra y que las personas se adapten a estas.

La primera práctica es evitar la labranza con maquinaria en el suelo, pues es de las actividades que más consume energía y contamina el aire, por ello se debe optar por una siembra directa; La segunda práctica se refiere al uso de insumos agroquímicos, pues se deben aplicar de tal forma que no alteren los procesos biológicos del suelo y por último la rotación de cultivos o asociación de varios sectores productivos, como es el caso de los sistemas silvopastoriles, los cuales involucran árboles y pastos o cultivos y ganadería.

Lo anterior se pone como estrategia para reducir las emisiones de gases invernadero, pues se usan en menor cantidad la mano de obra e insumos de energía, ayudando a que se usen de manera eficiente los nutrientes presentes en el suelo, preservándolo, evitando su descomposición y liberación carbono a la atmósfera.

Otros beneficios que aporta la agricultura de conservación son: La sustentabilidad y el rendimiento, pues no solo aumenta la productividad agrícola, sino que también, mejora la biodiversidad de la flora, la fauna, la biota del suelo y la preservación de los recursos naturales, reduciendo costos de producción, mano de obra y tiempo; los suelos que no son labrados o intervenidos con maquinaria, tienden a ser más sanos, dado que, su capacidad de infiltración de agua es mayor, impidiendo que se erosione por escorrentías, esto también favorece el balance hídrico, porque ayuda a retener el agua subterránea y mejora la calidad del agua que se encuentra en la superficie. Adicionalmente, el adoptar la labranza cero en los terrenos de cultivo a nivel mundial funcionaria como sumideros de CO₂, convirtiéndose en una alternativa para mitigar la contaminación del aire, el calentamiento global (FAO, 2016).

- Cobertura y uso del suelo

Este concepto se relaciona a la observación de los diferentes tipos de superficies de la tierra, en donde se muestran las peculiaridades del suelo y sus propiedades biofísicas. También detalla la clase de vegetación existente sobre el terreno, los afloramientos rocosos, cuerpos de agua y los componentes antrópicos.

La cobertura vegetal es un área delimitada que emerge de un análisis espectral que establece sus funciones, desarrollo y proceso evolutivo, así como sus propiedades ambientales y diferencias aparentes entre varias áreas.

El uso del suelo involucra la ejecución de actividades económicas por parte del ser humano sobre las coberturas vegetales y este a su vez se clasifica según su enfoque funcional en determinadas áreas (Leyva, 2001).

6.3.1 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

- ¿Qué son los SIG?

Un SIG es un sistema informático con el cual se puede acceder a gestionar, analizar, procesar, modelar y almacenar datos espaciales, estos están enlazados a características o cualidades representativas.

Los datos obtenidos provienen de varias fuentes, tales como, la fotografía aérea, la cartografía, imágenes satelitales, mapas, sistemas de posicionamiento global (GPS), modelos digitales de terreno (DTM), levantamientos en campo y bases de datos de otros SIG. En Colombia el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), es el proveedor más grande de cartografía análoga (planchas representadas en el papel) y en su mayoría se encuentra digitalizada en formatos de escala entre 1:25.000 y 1:2.000, la cual les permite a otros usuarios de SIG procesar los datos fácilmente (Gómez & Quiroga, 2012).

Los SIG son una herramienta aplicada dentro de la geografía humana, pues le permite espacialmente a las personas, cosas, lugares y eventos. Lo anterior, se relaciona con la visualización y el estudio de características como, por ejemplo, los barrios, las calles, zonas de inundación, agua, áreas naturales, suelos y su uso, la densidad poblacional, el clima, entre otros, representado a través de mapas, gráficas, animaciones y visualizaciones tridimensionales (Sánchez Pardo & Morte, 2012).

De allí, su importancia para determinar los patrones de las actividades humanas que se desarrollan dentro de un espacio.

- Interpretación de imágenes satelitales

La interpretación de imágenes, tiene como fin establecer los rasgos que se reflejan en la superficie terrestre, estos corresponden a características geológicas y geomorfológicas, del clima, densidad de la vegetación y la erosión de la región. Es una herramienta empleada mayormente en estudios de uso de suelos, áreas urbanas, en estudios de desarrollo urbano y rural, en estudios de contaminación de suelos y agua, en estudios de geotecnia, en selección de áreas de extracción de materiales de construcción, etc.

También es un instrumento de análisis, investigación y comunicación, a través del cual se pueden visualizar detalladamente si los elementos localizados en la superficie de la tierra son naturales o artificiales; de esta manera se dice que examina la forma, el tamaño, la topografía, el patrón de drenaje, la textura el tono, la erosión, las sombras, la vegetación y uso del suelo sobre la superficie terrestre (González, 2007).

- ArcGIS

ArcGIS es un sistema de software GIS de propósito general desarrollado por ESRI. Es una tecnología de plataforma de software extensa e integrada para construir GIS operativos. ArcGIS consta de cuatro partes de software clave: un modelo de información geográfica para modelar aspectos del mundo real; componentes para almacenar y gestionar información geográfica en archivos y bases de datos; un conjunto de aplicaciones listas para usar para crear, editar, manipular, mapear, analizar y difundir información geográfica; y una colección de servicios web que proporcionan contenido y capacidades (datos y funciones) a clientes de software en red.

Las herramientas del software se ocupan de la creación, importación y edición de datos geográficos, integración y gestión de datos, manipulación y organización de datos, y análisis, mapeo e informes de datos. (ESRI, ESRI, 2021).

- ENVI 5,3

ENVI es el software ideal para la visualización, análisis y presentación de todo tipo de imágenes digitales. El paquete completo de procesamiento de imágenes de ENVI incluye herramientas espectrales avanzadas, pero fáciles de usar, corrección geométrica, análisis de terreno, análisis de radar, GIS raster y vectorial. capacidades, amplio soporte para imágenes de una amplia variedad de fuentes y mucho más.

ENVI aborda áreas problemáticas comunes del procesamiento de imágenes, como la entrada de tipos de datos no estándar, visualización y análisis de imágenes grandes y extensiones simples de capacidades de análisis (funciones complementarias). El software permite procesar y analizar imágenes geoespaciales, además facilita la resolución de problemas utilizando imágenes geoespaciales. (ESRI, ESRI SIGSA, 2021).

- IDRISI Selva

Es un programa de interfase que contiene alrededor de 200 módulos que permiten la entrada, visualización y análisis de datos cartográficos y de sensores remotos. Dichos datos, se especifican con formato de capas de mapas. IDRISI selva, integra capas de imágenes de raster y vectoriales, así como, un análisis de las imágenes captadas a través de sensores remotos permitiendo proyectar y transformar coordenadas geodésicas en una hoja de mapa (J. Ronald, 2012).

Este programa cuenta con una extensión llamada Land Change Modeler el cual permite analizar rápidamente los cambios en la cobertura terrestre, modelar empíricamente las relaciones con las variables explicativas y simular escenarios futuros de cambios en la tierra. proporcionando una solución de principio a fin para sus necesidades de análisis de cambio de terreno.

6.3.2 CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES

La clasificación de imágenes se puede definir como una matriz rectangular que agrupa los píxeles en un número finito de clases individuales o categorías de información. Es decir que compara cada uno de los píxeles de la imagen con valores de referencia de las categorías establecidas.

La clasificación consiste en establecer una clase de objetos del terreno que tienen características espectrales similares (Firma espectral) (Gómez & Quiroga, 2012). Con los resultados de la clasificación de imágenes se pueden utilizar para la creación de mapas temáticos.

- Clasificación Corine Land Cover

La metodología **CORINE Land Cover - CLC** se refiere a la técnica que establece y distribuye los diferentes usos y coberturas existentes en la tierra observándose en imágenes satelitales de resoluciones medias, como las del satélite landsat. Hasta el momento, este sistema ha sido adoptado y aplicado en Colombia por el IDEAM y el IGAC, quienes unificaron las metodologías ya existentes con la mencionada, mejorando la caracterización, descripción y clasificación de coberturas vegetales a nivel nacional teniendo en cuenta una escala de 1:100.000 (IDEAM, Metodología Corine Land Cover, 2005).

Gracias a este sistema de clasificación y a los estudios que se han realizado, han permitido que se desarrollen políticas de ordenamiento territorial, siendo un instrumento para el manejo multi-escala y multitemporal de la información; toda vez que, esta metodología permite la construcción de mapas de cobertura y uso de la tierra para comparar estadísticamente la ocupación de la misma. Lo anterior se da al clasificar las coberturas terrestres a través de una nomenclatura jerárquica, que consta de categorías y vincula distintos niveles de detalle espacial con distintos niveles de detalle temático. Este proceso contribuye al momento de interpretar imágenes en la clasificación supervisada pues establece una cartografía digital confiable al facilitar la evaluación de la manera en que se utiliza y se destina el espacio geográfico, cubriendo así las necesidades de los sectores económicos y ambientales; adicionalmente es un mecanismo que favorece a la adecuada gestión de los recursos naturales y al ordenamiento territorial del país.

- Clasificación supervisada

La clasificación supervisada consiste en seleccionar muestras de entrenamiento y clasifica su imagen en función de las muestras elegidas. Sus muestras de entrenamiento son clave porque determinarán qué clase hereda cada píxel en su imagen general.

En la clasificación supervisada, el software de procesamiento de imágenes es guiado por el usuario para especificar las clases de cobertura terrestre de interés. El usuario define “Regiones de Interés de Entrenamiento. ROI’s”, áreas en el mapa que se sabe que son representativas de un tipo de cobertura terrestre en particular, para cada tipo de cobertura terrestre de interés. El software determina la firma espectral de los píxeles dentro de cada área de entrenamiento y utiliza esta información para definir la media y la varianza de las clases en relación con todas las bandas o capas de entrada. Luego, cada píxel de la imagen se asigna, en función de su firma espectral, a la clase con la que más se asemeja. Es importante elegir áreas de entrenamiento que cubran todo el rango de variabilidad dentro de cada tipo de cobertura terrestre para permitir que el software clasifique con precisión el resto de la imagen (Velandia Iván & Rojas Sanchez, 2019).

La clasificación supervisada puede ser muy eficaz y precisa para clasificar imágenes de satélite y se puede aplicar a nivel de píxel individual a objetos de imagen (grupos de píxeles similares adyacentes). Sin embargo, para que el proceso funcione de manera eficaz, la persona que procesa la imagen debe tener cierto conocimiento de la zona de estudio de dónde se encuentran las clases de interés, o ser capaz de para identificarlos directamente a partir de las imágenes.

- Clasificación no supervisada

La clasificación no supervisada, se basa completamente en la identificación y asignación automática de píxeles de imagen a agrupaciones espectrales. Es decir, agrupa los píxeles en un conjunto de datos basándose solo en estadísticas y no usa clases de entrenamiento definidas.

La clasificación no supervisada produce una imagen de salida en la que se identifican varias clases y cada píxel se asigna a una clase. Estas clases pueden o no corresponder bien a los tipos de cobertura terrestre de interés, y el usuario deberá asignar etiquetas significativas a cada clase. La clasificación no supervisada a menudo da como resultado demasiadas clases de

cobertura terrestre, particularmente para tipos heterogéneos de cobertura terrestre, y las clases a menudo deben combinarse para crear un mapa significativo (Rodríguez Vázquez, 2011).

La clasificación no supervisada es útil cuando no hay datos de campo preexistentes o fotografías aéreas detalladas para el área de la imagen, y el usuario no puede especificar con precisión áreas de entrenamiento de un tipo de cobertura conocido.

7 METODOLOGÍA

7.1 DELIMITACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Subcuenca del río Chicú se localiza en el departamento de Cundinamarca, ubicada en la parte occidental de la Sabana de Bogotá, encontrando geográficamente en la cresta de la cordillera Oriental. Cuenta con un área total de 14.793 hectáreas comprendidas entre los municipios de Tabio, Tenjo, Cota, y parte de El Rosal, Cajicá, Subachoque y Madrid. La cabecera de la subcuenca presenta una elevación entre los 2.510 msnm y los 3.140 msnm, mientras que el cauce principal cuenta con una altitud de 2630 msnm con una longitud de 23,6 kilómetros, teniendo tributarios como las quebradas Tince, Carrón, Garay, Caracol, Churuguaco y Soacha (Corporación Autonoma Regional, 2006).

La subcuenca limita al norte con el municipio de Tabio, al sur con el municipio de Tenjo, al oriente con parte de los municipios de Cota, Cajicá, Chía y al occidente con parte de los municipios de Subachoque, el Rosal y Madrid. Así mismo, la subcuenca del río Chicú también limita con otras cuencas como; Río Frío, al noreste; Río de Bogotá, al sureste; y río de Subachoque, al este como se aprecia en la Figura 2.

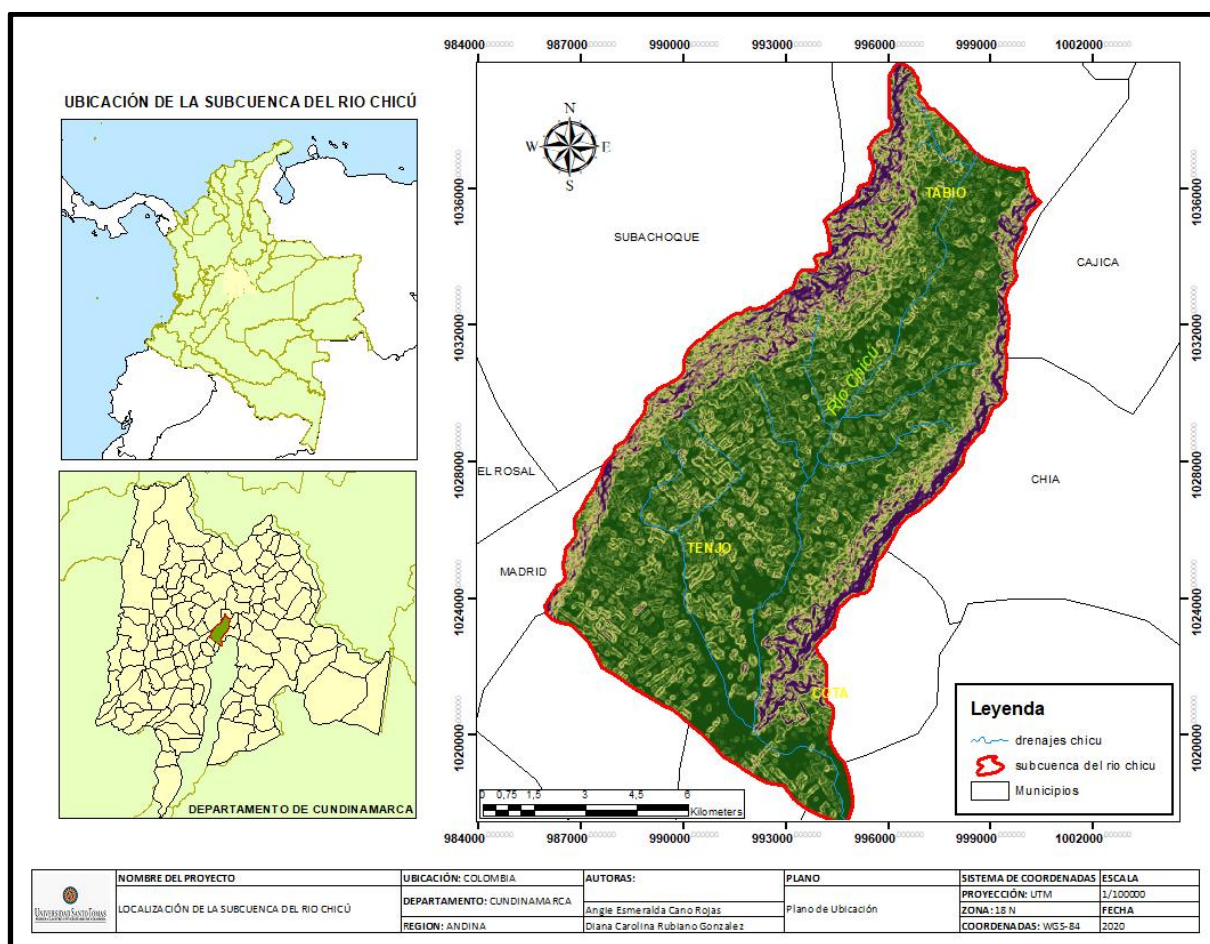


Figura 2 Mapa de la localización geográfica de la subcuenca del río Chicú.

Fuente: Elaboración propia

- Principales actividades económicas

Dentro del territorio de la subcuenca del río Chicú se destacan actividades económicas tales como:

- Actividad agropecuaria: la agricultura intensiva es la actividad económica predominante en los municipios de Tabio, Tenjo y Cota, cultivando en sus terrenos papa, maíz, arveja, zanahoria, acelga y brócoli. Es de resaltar que esta actividad se desarrolla en predios que no alcanzan las 5 Ha, lo que dificulta la economía a grande escala, se evidencia la falta de asistencia técnica (capacitación) y de innovación tecnológica, lo que afecta la productividad y competitividad lo que hace que los pobladores tengan un enfoque empresarial pobre.

En cuanto a la actividad pecuaria varía en su crianza desde ganado mayor como el vacuno, ovinos de lana y el porcino, en cuanto al ganado de especies menores sobresalen el caprino y las aves de corral; destaca la explotación de bovinos de doble propósito (producción de leche y carne) en especial en el municipio de Tenjo, la actividad ganadera posee potencial dentro de la subcuenca por la cobertura vegetal de pastos limpios que permiten su pastoreo en libertad en dichas áreas, sin embargo, otro aspecto a tener en cuenta es que el constante sobre pastoreo del ganado bovino aporta a procesos erosivos y de remoción del suelo. El inconveniente que presenta esta categoría es su desarrollo rústico, desde las instalaciones e infraestructura en favor del ganado, su manipulación en temas reproductivos, la comercialización y sus aspectos sanitarios.

Desde la perspectiva sanitaria, para el municipio de Cota la crianza y explotación de porcinos genera un desafío con el vertimiento de desechos orgánicos de manera directa a los cuerpos de agua (Corporación Autónoma Regional, 2006).

- Actividad agroindustrial: Esta actividad está marcada dentro de la subcuenca del río Chicú por los grandes cultivos de flores, que si bien generan empleo de mano de obra no calificada, incrementan los asentamientos y urbanización por la población que se desplaza a laborar; de otro lado se encuentra el contratiempo de la presión que esta industria causa sobre el recurso hídrico, pues lo contamina realizando vertimientos con cargas tóxicas de pesticidas y fertilizantes propagados a los afluentes, que más tarde estarán dentro de los productos cárnicos y lácteos, pues el ganado consume esta agua (Corporación Autónoma Regional, 2006).
- Actividad minera: Aunque en poca magnitud en los tres municipios se explotan materiales usados para la construcción como lo son las gravas, gravillas, arena y piedras; este aprovechamiento de recursos afecta de manera negativa a los recursos naturales y al ambiente en general, dado que estas actividades requieren de amoldar el terreno y este proceso se hace por medio de la deforestación y el retiro de la capa vegetal en la zona (Corporación Autónoma Regional, 2006).
- Actividad turística: La subcuenca del río Chicú tiene el potencial para convertirse en un sendero ecológico, para el cual se hizo un proyecto de recuperación de su ronda en asociación con el país vasco-empresa Basoína y la secretaria de cooperación de la Gobernación de Cundinamarca en el municipio de Tenjo, sin embargo, este no tuvo la aceptación planeada, pues carece de presupuesto e infraestructura para ponerlo en marcha en su totalidad. Por otra parte, el municipio de Tabio posee un balneario termal, pero su estructura y cimientos se encuentran deteriorados (Corporación Autónoma Regional, 2006).

- Vocación del uso del suelo

La vocación del suelo se determina clasificando a las tierras a través de su capacidad de uso, teniendo en cuenta características como el clima, su geo forma, su aptitud de producción y su manejo; por otro lado, también se tienen en cuenta cualidades como su relieve, capacidad de drenaje o si son propensos a la erosión según sea su unidad cartográfica. Seguidamente es necesario realizar un estudio y una planificación en donde se diseñen estrategias que beneficien el desarrollo de los sectores agrícolas y pecuarios, de igual manera que la implementación de políticas ambientales que conserven los recursos naturales, todo en medida al conocimiento de la potencialidad y la manera en la que el hombre usa las tierras (IGAC, 2000).

Para el año 1986, el IGAC y el ICA realizaron un estudio llamado Uso Actual de las Tierras de Colombia, en el cual las unidades cartográficas usaron una escala de 1:500.000 en su representación de mapas, también usaron la terminología de coberturas tales como cultivos transitorios, semipermanentes, perennes, misceláneos; pastos; bosques y sin uso agropecuario o forestal. Dicha investigación permitió instaurar los tipos de coberturas y su variabilidad en las áreas, del mismo modo que el uso que se le da a las tierras (Corporación Autonoma Regional, 2006).

En el caso de la subcuenca del río Chicú, se tuvo en cuenta las siguientes unidades de uso actual del suelo: uso forestal (bosques y rastrojo), uso agrícola (cultivos), uso pecuario (pastos), otros usos (cuerpos de agua y áreas despojadas de vegetación), uso urbano e infraestructura (infraestructura mixta y zonas urbanas) y uso especial (vegetación especial) (Corporación Autonoma Regional, 2006).

- **Uso forestal:** A esta unidad pertenecen las coberturas de bosques y vegetación de tipo leñosa, las cuales son usadas por sus habitantes para aprovisionarse de leña para cocinar, para la construcción de viviendas y protección del suelo en pendientes pronunciadas, así como, zonas cubiertas de rastrojo.
- **Uso agrícola:** Dentro de esta unidad inciden principalmente los cultivos de papa, los de invernadero y los cultivos transitorios de hortalizas.
- **Uso pecuario:** Esta unidad se utiliza para el pastoreo y levante de ganado bovino lechero e incluye pastos limpios para su alimentación.
- **Uso urbano e infraestructura:** A esta unidad la constituyen las áreas urbanas de las veredas y municipios u obras para el servicio y beneficio de sus habitantes elaboradas en materiales como concreto y ladrillo.
- **Uso especial:** Corresponde a la unidad en donde se encuentran ecosistemas fragmentados por el hombre o endémicos que se sitúan en las áreas con mayor altura o con una pendiente pronunciada dentro de la Subcuenca.
- **Otros usos:** En esta unidad se ubican los cuerpos de agua y áreas despojadas de vegetación en la Subcuenca, así como superficies erosionadas.

7.2 ENFOQUE METODOLÓGICO

Dentro de los enfoques dirigidos a los proyectos de cuencas hidrográficas, el recurso hídrico y del desarrollo del territorio, se caracterizan algunos como: el sectorial y el sistémico (Dourojeanni, Jouravlev, & Chávez, 2002).

Para el desarrollo de este trabajo de grado se propuso usar un enfoque con orientación sistémica, en el cual se consideren los estudios y las actividades que se realizan en la Subcuenca del río Chicú, teniendo en cuenta la importancia que tienen los elementos (agua, suelo, clima, vegetación y fauna) que pertenecen a esta, así como, su interacción con el hombre y sus dinámicas sociales, políticas, culturales y económicas. Por ende, este enfoque encierra estas variables en un sistema en el que se interrelacionan o se conectan, de modo que, es necesario identificar las problemáticas

que afectan a la Subcuenca del río Chicú, formulando soluciones y alternativas, al igual que, oportunidades de mejora y corrección de los resultados en el proceso de seguimiento de las actividades realizadas, pues su aplicación incorrecta desencadena el deterioro de los recursos naturales y el desarrollo de las actuales y nuevas generaciones en el territorio (Moreno Díaz & Renner, 2007).

7.2.1 MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

Para dicha investigación, se tuvo en cuenta el desarrollo de las siguientes herramientas, según las estrategias metodológicas cualitativa y cuantitativa como se observa en la Figura 3.

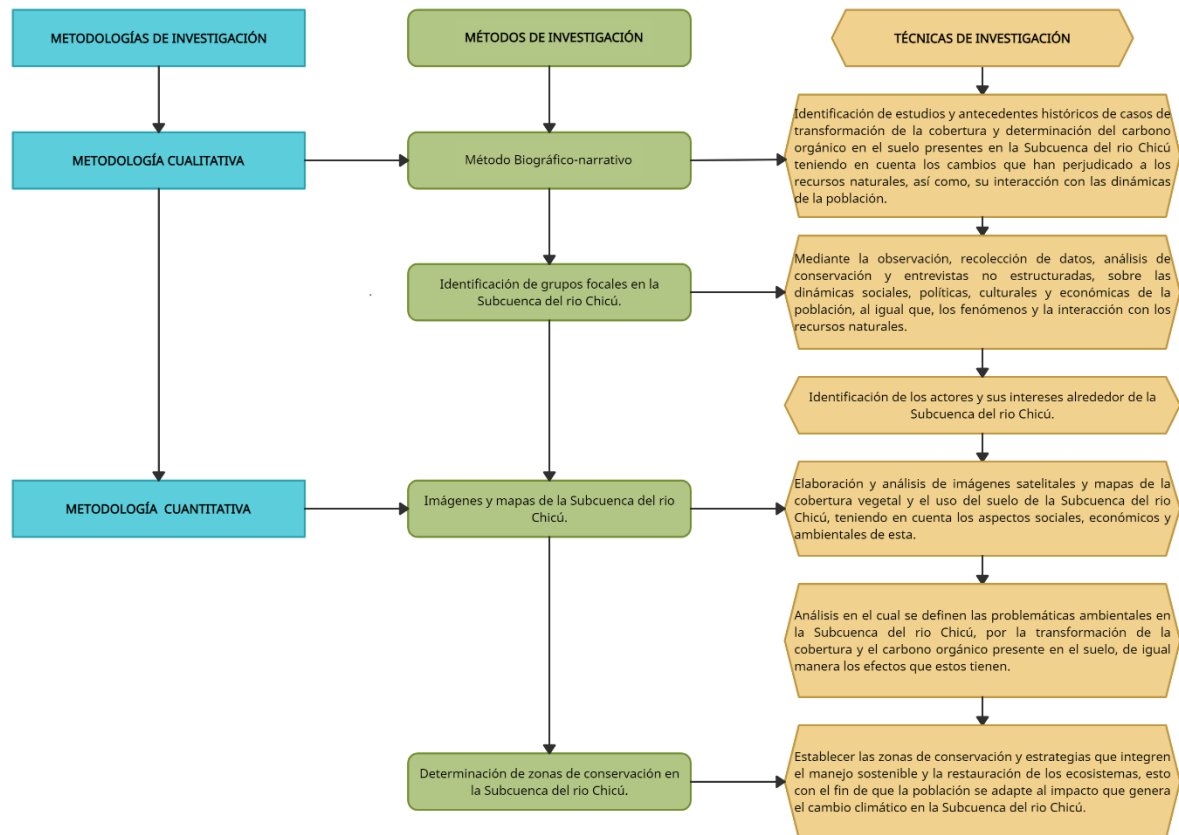


Figura 3 Flujograma de los métodos y técnicas de investigación aplicados
Fuente: Elaboración propia

7.3 MÉTODOS

Para la realización de este proyecto se reconocen 3 fases las cuales se exponen a continuación:

7.3.1 PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS MULTITEMPORAL MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES PARA DETERMINAR LOS CAMBIOS DE LA COBERTURA VEGETAL Y EL USO DEL SUELO, ASOCIADOS A LOS IMPACTOS EN LOS BIENES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS.

7.3.2 PRIMERA FASE: ADQUISICIÓN DE LA INFORMACIÓN

- Adquisición de información secundaria

Esta fase está orientada a la observación y recopilación de la información primaria suministrada por entidades institucionales asociadas a la Subcuenca del río Chicú, tales como, Alcaldías municipales, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, UMATAS, grupos focales y la población de los municipios de Tenjo, Tabio y Cota; de igual manera, la información secundaria, es adquirida a través de libros, informes, artículos científicos e investigaciones realizadas alrededor de la transformación paisajística, la conservación y el carbono orgánico en el suelo, teniendo como insumo los instrumentos de planificación base como el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca hidrográfica (POMCA), el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de los municipios, el estudio de suelos del departamento de Cundinamarca y por último los documentos técnicos elaborados por instituciones privadas.

En esta etapa se busca hacer la recolección de la mayor cantidad de datos e información necesaria con relación a la cobertura y el uso del suelo, actividades económicas, sociales y políticas, los asentamientos de la población, los actores involucrados y sus intereses dentro de la subcuenca.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se inició con la revisión bibliográfica a las temáticas enfocadas en la información existente de la Subcuenca del río Chicú. Posteriormente, para el desarrollo del proyecto fue necesario recolectar la cartografía básica de la zona de estudio en formato shape, la cual está compuesta por elementos cartográficos como; cobertura y uso actual del suelo, conflictos por el uso del suelo, geología hidrogeología, entre otros. Esta información fue proporcionada por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR y las Alcaldías locales de Tabio, Tenjo y Cota encargadas de administrar y manejar este tipo de información digital.

Por último, se llevó a cabo una visita de campo en el área de interés a trabajar, esto con el objetivo de hacer reconocimiento de las coberturas y los usos del suelo e identificar y observar cómo es la situación actual en la Subcuenca.

- Adquisición de imágenes satelitales de la zona de estudio

Para el desarrollo de este proyecto es importante escoger el sensor que mejor se acomode a la zona de estudio, dependiendo de las características como lo es la resolución espacial, la precisión radiométrica, atmosférica y cartográfica, de dimensionalidad espectral alta.

Para el desarrollo de este trabajo se utilizaron cinco imágenes digitales capturadas del satélite Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 OLI que cubren la extensión del área de estudio correspondientes a los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020, con una proyección UTM Zone 18 Dátum WGS8, lo que representa un análisis de series de tiempo de 20 años, esta información se ve referida en la Tabla 1.

Tabla 1 Descripción de las imágenes

ID IMÁGEN	SATÉLITE	SENSOR	# DE BANDAS	AÑO
LE07_L1TP_008057_20000220_20170213	LANDSAT 7	ETM+	8	20/02/2000
LE07_L1TP_008057_20050201_20170116				1/02/2005
LE07_L1TP_008057_20100114_20161217				14/01/2010
LC08_L1TP_008057_20150221_20170412	LANDSAT 8	TM(OLI + TIRS)	11	21/02/2015
LC08_L1TP_008057_20200322_20200326				22/03/2020

Fuente: Elaboración propia

Es importante mencionar, que la búsqueda y descarga de las imágenes satelitales fue a través de la página web Earth Explorer del Servicio Geológico de los Estados Unidos - USGS en formato GeoTIFF, donde se tuvieron en cuenta parámetros como el Path y el Row (8/57) que cubre por completo el área de interés, la resolución espacial de 30m y el índice de nubosidad no fuera mayor al 15% para facilitar la interpretación de la información.

7.3.3 SEGUNDA FASE: PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Esta fase corresponde al tratamiento y procesamiento de la información para la preparación de mapas históricos; por medio de imágenes satelitales y cartografía obtenida de la primera fase, para posteriormente elaborar mapas que permitan visualizar y delimitar el uso del suelo, la degradación de los recursos naturales, los asentamientos de la población y las dinámicas de la comunidad en la Subcuenca del río Chicú, siendo comparado en escalas de tiempo, con el fin de investigar la evolución que ha tenido el área a través de los años. Lo anterior, determinará los impactos negativos y positivos de la Subcuenca y los puntos estratégicos de las problemáticas ambientales.

7.3.3.1 SELECCIÓN Y PRE- PROCESAMIENTO

Las imágenes satelitales de los sensores Landsat 7 Enhanced Mapper Plus Thematic (ETM+) y Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) son las más utilizadas para detectar cambios en la cobertura y uso del suelo, ya que estas proporcionan mejoras geométricas y radiométricas en la resolución espacial. Además, cuenta con la incorporación de nuevas bandas espaciales permitiendo que la información sea de mayor precisión, mejor detallada y más confiable para su interpretación.

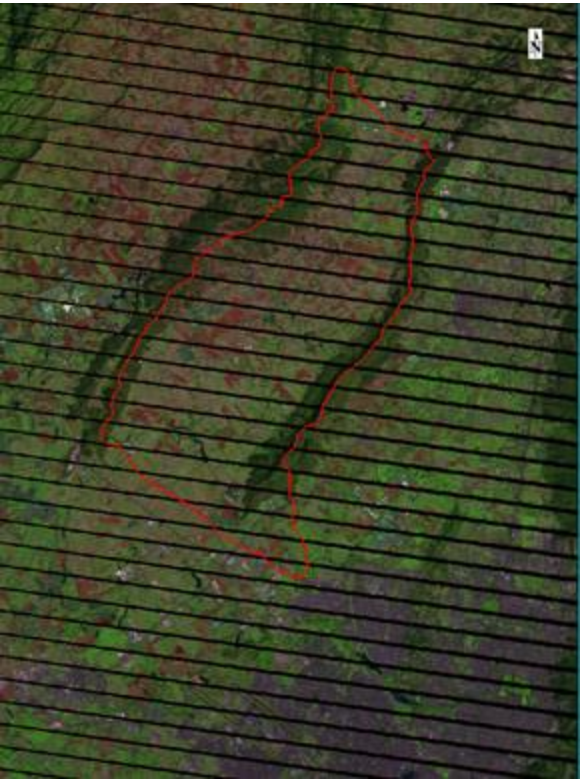
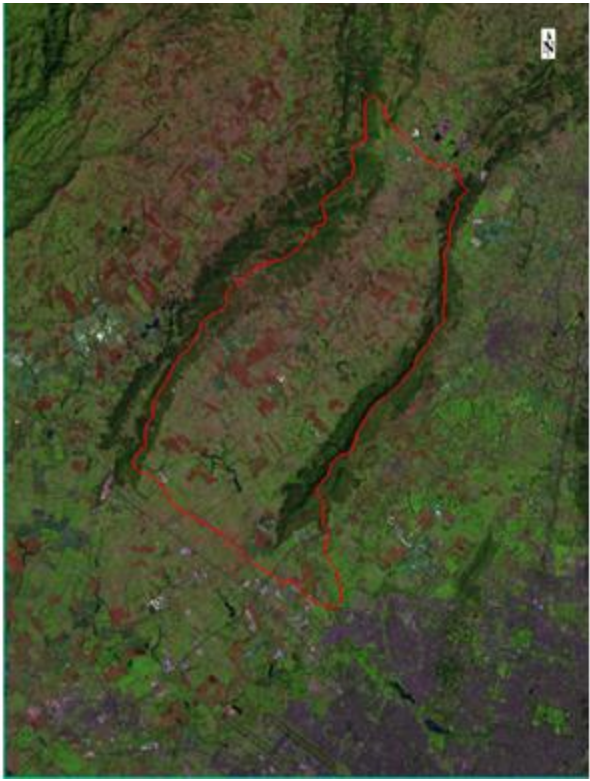
Antes de su uso para cualquier análisis y llevar a cabo la clasificación, las imágenes fueron sometidas a un pre-procesamiento que consiste en mejorar los resultados de la clasificación de imágenes. Durante este proceso se realizó la corrección para eliminar valores atípicos y se corrigieron aún más para detectar errores radiométricos, toda vez que están sujetas a distorsiones como resultado de los efectos del sensor, afectado por las condiciones solares, atmosféricas y topográficas.

Este pre-procesamiento se divide en cuatro pasos, donde se utilizaron los paquetes de software ENVI 5.3 y ArcGIS 10.5.1, que se aplicaron para tener una información más detallada y precisa de los datos de cada imagen.

- Corrección del slc-off

Para este estudio, las imágenes correspondientes a los años 2005 y 2010 se vieron afectadas debido a una falla parcial que sufrió el Corrector de Escaneo Lineal (SLC) del satélite Landsat 7 el 31 de mayo de 2003 el cual se encarga de compensar el movimiento de avance del satélite. Al no tener éxito los esfuerzos posteriores para recuperar el SLC, en consecuencia, las imágenes capturadas se ven afectadas por un patrón en Zig-zag ó líneas paralelas, lo que resulta en grandes espacios en blanco implicando la pérdida de hasta un 22% de los datos recopilados (Ver Figura 4 y Figura 5).

Por lo anterior, se han desarrollado varios algoritmos diseñados para reparar estas fallas conocidas como gaps (huecos). Para este estudio, se hizo una corrección por bandeado haciendo uso de la extensión GapFill en ENVI 5.3 utilizando el método de relleno de huecos. Este procedimiento realiza operaciones de interpolación de datos espectrales de la misma imagen donde los píxeles vacíos son reemplazados con los píxeles vecinos más cercanos, para rellenarlos de tal manera que se completen los datos faltantes causados por la falla del SLC (Suarez Ramirez & Acosta Rivera, 2020).

Correccion Imagen Landat SLC Post y Pre	
	
Figura 4 Post-SLC Landsat 7 2005	Figura 5 Pre-SLC Landsat 7 2005

Fuente: Elaboración propia

- Corrección radiométrica

La corrección radiométrica es un paso esencial en el pre-procesamiento para las imágenes seleccionadas en este estudio, toda vez que la clasificación se realiza con base a los valores radiométricos. Este proceso consiste en conjunto de técnicas diseñadas para convertir los valores Numéricos Digitales- ND capturados por un sensor en valores de radiancia o Reflectancia. Estas transformaciones se realizan para calibrar los valores de píxeles y corregir errores en los valores, disminuyendo los efectos de dispersión y absorción causado por las condiciones atmosféricas, facilitando la interpretación y calidad de los datos de teledetección, ya que son particularmente importantes al momento de comparar varios conjuntos de datos durante un periodo de tiempo (Suarez Ramirez & Acosta Rivera, 2020).

Para reducir los errores radiométricos, las imágenes Landsat utilizadas se calibraron utilizando la herramienta de “corrección radiométrica” en el programa ENVI 5.3, donde los valores digitales de los sensores (ND) se convirtieron a reflectancia en la parte superior de la atmósfera (TOA). ENVI aplica el factor de escala, es decir que las ecuaciones que se aplican durante el proceso cambian la escala de los datos en función de la información específica del sensor, eliminando los efectos de las diferencias en la geometría de la iluminación, permitiendo reducir errores provocados por los efectos atmosféricos.

- Corrección atmosférica

La corrección atmosférica es el proceso de eliminar los efectos de la atmósfera como la neblina y nubes para producir valores de reflectancia superficial. Este proceso permite mejorar significativamente la interpretación y uso de una imagen (Suarez Ramirez & Acosta Rivera, 2020).

Para la corrección atmosférica se utilizó la herramienta FLAASH en ENVI 5.3, que tiene como función realizar internamente la conversión a valores de reflectancia eliminando aquellos problemas que se generan por los factores presentes en la atmósfera. Como resultado se obtiene una imagen con valores de reflectancia que mejora la separabilidad espectral de los objetos presentes en la imagen corregida con respecto a la imagen original y mejora los resultados.

- Recorte de la escena

Dado que las imágenes satelitales descargadas abarcan extensiones de terreno superior al área de estudio que nos interesa, mediante el programa ArcGis 10.5.1 se procedió a recortar el área de interés usando el Shape de la subcuenca, a través de la herramienta ArcToolBox, Spatial Analysis Tools, Extraction y “Extract By Mask”. Esto con el objetivo de que los procesos de correcciones sean mucho más rápidos, disminuyendo la información a procesar y facilitando el tratamiento de cada imagen satelital para su respectiva clasificación.

7.3.3.2 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

- Clasificación de Coberturas de la tierra
- Determinación e Identificación de las coberturas

A partir de las correcciones de cada imagen satelital, estas serán utilizadas para establecer el uso de tierras y determinar las coberturas vegetales en los diferentes periodos. Para el desarrollo de esta etapa, es importante hacer uso de los sistemas de información geográfica, donde fue necesario la manipulación del software ENVI 5.3 y ArcGis 10.5.1 para hacer el procesamiento digital, donde

se adaptó la metodología Corine Land Cover, con el fin de poder identificar de manera más precisa las coberturas.

El levantamiento de información en campo es una actividad complementaria y necesaria en la clasificación, para la corroboración y verificación de los resultados. La visita se llevó a cabo el 28 y 31 de julio, donde se tomaron puntos coordenados en todo el recorrido para hacer un reconocimiento de las coberturas presentes dentro de la subcuenca del río Chicú y así definir mejor los puntos de entrenamiento para el proceso de clasificación supervisada.

En el área de estudio se identificaron las coberturas vegetales las cuales fueron categorizadas con base a la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia: A continuación, se presentan las principales categorías presentes en la Subcuenca del río Chicú y su codificación.

Reconocimiento en campo de las coberturas presentes en la Subcuenca



Figura 6 Tejido Urbano Continuo (1.1.1.)



Figura 7 Otros Cultivos Transitorios (2.1.1.)



Figura 8 Cultivos Confinados (2.2.5.)



Figura 9 Mosaico de Pastos y Cultivos (2.4.2.)

Reconocimiento en campo de las coberturas presentes en la Subcuenca



Figura 10 Pastos Limpios (2.3.1.)



Figura 11 Bosque Denso (3.1.1.)



Figura 12 Bosque Fragmentado (3.1.3)



Figura 13 Tierras Desnudas y Degradadas (3.3.3.)



Figura 14 Lagos, Lagunas y Ciénagas (5.1.2.)

Fuente: Elaboración propia

- Tejido Urbano Continuo (1.1.1.): de acuerdo a (IDEAM, 2012) Esta categoría se caracteriza por estar conformada por más del 80% de la superficie total, la mayor parte del área está cubierta de estructuras como edificios, carreteras y otras superficies

artificiales. Para la Subcuenca del río Chicú las áreas urbanas continuas más importantes son las de las cabeceras municipales pertenecientes a Tenjo, Tabio y Cota donde se incluyen zonas industriales, comerciales, institucionales urbanas y todas aquellas infraestructuras al interior del perímetro urbano. Para el presente año esta cobertura ocupa el 11.75% del área total de la subcuenca, lo que equivale a 1669,92 hectáreas.

- Otros Cultivos Transitorio (2.1.1.): esta categoría se caracteriza por ser tierras ocupadas por cultivos transitorios y comprende las áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo es menor a un año o menos, llegando incluso a ser de solo unos pocos meses. En el presente estudio se identificaron cereales, hortalizas y tubérculos, ya que son los principales tipos de cultivos ubicados en la subcuenca y donde se destacan los cultivos de: maíz, arveja, zanahoria y papa. Y son las mayormente representativas de acuerdo a lo que se corroboró en campo. Esta cobertura tiene un área de 264,33 hectáreas, lo que equivale al 1,86% del área total de la subcuenca.

Esta categoría cuenta con cultivos que tienen como característica principal periodos bimodales de siembra, influyendo en la variación de cobertura del suelo en algunos meses del año.

- Cultivos Confinados (2.2.5.): esta categoría se caracteriza por pertenecer a cultivos en áreas reducidas y limitadas, muchas veces bajo infraestructura de invernaderos, o estructuras cerradas cubiertas por materiales plásticos visibles, expuestos a condiciones intensivas, los cuales están principalmente dedicados al cultivo de flores, frutales y hortalizas. En el presente estudio se evidenció en campo extensiones de este tipo de cultivo que son principalmente para la producción de flores ocupando el 8,71% del área total de la subcuenca, lo que equivale a 1238,24 hectáreas.

La subcuenca del río Chicú se centra principalmente en la floricultura ya que a los alrededores se encuentran empresas dedicadas al cultivo y producción de flores.

- Pastos Limpios (2.3.1.): esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento mayor a 70%, presentando un cubrimiento mayor con respecto a las demás coberturas, la realización de prácticas de manejo y el nivel tecnológico utilizados hacen imposible la aparición de otro tipo de cobertura. En la zona de estudio se observó que los pastos limpios predominan como una de las coberturas de la tierra de la subcuenca con un área total de 2469,45 hectáreas, que representan el 17,37 % del área.

En la subcuenca esta cobertura se encuentra principalmente en la parte media y baja, entre 2.500 y 3.000 msnm. Cubriendo un importante espacio con grandes parcelas de pasto asociadas a la vocación pecuaria propia de una de las principales actividades económicas de la zona.

- Mosaico de Pastos y Cultivos (2.4.2.): esta cobertura se encuentra localizada principalmente en el sector medio y bajo de la subcuenca y cubre 2231,32 hectáreas (15,70%) del área total. De acuerdo al (IDEAM, 2012), estas son áreas que corresponden a las tierras ocupadas por mosaico de pastos y pequeños cultivos, donde su tamaño o parcialización es compleja (inferior a 25 ha) para ser representados de manera individual, por lo tanto, se clasifican como una sola. En el área de estudio se identificaron coberturas mixtas en varios puntos, correspondientes a zonas de ganadería y cultivos que no permiten ser cartografiados, ya que es común que la población perteneciente a la subcuenca combine ambas actividades económicas en una misma zona, es decir que los cultivos se ven relacionados con los pastizales manejados por las actividades pecuarias con el fin de su propio desarrollo.

- *Bosque Denso (3.1.1.):* son áreas constituidas principalmente por una unidad típicamente arbórea, los cuales forman un estrato de copas (dosel) medianamente continuo, sin intervención o con una intervención selectiva que no ha alterado su estructura original o sus características funcionales, y su grado de conservación es mayor que la cobertura de bosque fragmentado. Adicionalmente, el bosque denso representa más del 70% de la superficie total de la subcuenca y debe alcanzar una altura entre 5 y 15 metros.

En la subcuenca esta cobertura es predominante hacia el flanco oriental, la vegetación es variada y presenta zonas con una gran diversidad vegetal propias del ecosistema bosque alto andino. comprende una superficie de 1335,13 hectáreas, que representa el 9,35% del área de la subcuenca.

- *Bosque Fragmentado (3.1.3.):* son territorios que se caracterizan por estar cubiertos por bosques naturales densos o abiertos, cuya continuidad se ve afectada por la intervención humana en el interior de la cobertura, originando parches por la presencia de pastos, cultivos, rastrojos o zonas degradadas que reemplazan la cobertura original, las cuales no representan más del 30% del área total de la unidad de bosque natural.

En la subcuenca se observan zonas de bosque fragmentado es la cobertura que más predomina en la subcuenca, la cual posee una extensión de 2751,51 hectáreas que corresponde al 19,36% del área total. De acuerdo a lo observado en campo, esta categoría se asocia principalmente a la deforestación, teniendo como objetivo la ampliación de las actividades agropecuarias y mineras.

- *Tierras Desnudas y Degradadas (3.3.3.):* hacen referencia a áreas que se identifican por su poca o escasa vegetación, que provoca una pérdida total o parcial de la capa fértil del suelo. Generalmente esto se debe a procesos naturales como antrópicos, degradación extrema, o por condiciones climáticas que afectan la zona. Se incluyen las áreas donde se presentan tierras semidesérticas con vegetación seca y ocurrencia de proceso de erosión que pueden llegar a la formación de cárcavas.

En la subcuenca del río Chicú esta cobertura posee una extensión aproximada de 1712,87 hectáreas, equivalentes al 12,05% del área total. De acuerdo a lo observado en campo, en este caso de estudio se evidenciaron suelos desnudos y quemados, estos se asocian a procesos erosivos, degradación de causas antrópicas debido a las actividades agrícolas y a terrenos que están siendo adecuados para futuras obras.

- *Lagunas Lagos y Ciénagas (5.1.2.):* son superficiales o depósitos de agua naturales abierto o cerrado conectadas o no con un río. En la zona andina hay cuerpos de agua (lagos y lagunas) situados en alta montaña que constituyen las áreas de nacimiento de los ríos. En la Subcuenca del río Chicú se observó el cauce principal del río, algunas quebradas, humedales y pozos subterráneos dentro de los predios de cultivos. Esta cobertura comprende un área de aproximadamente 40.05 hectáreas que equivalen al 0,28% del área total

- *Nubes (99):* son áreas cubiertas por nubes sombras en la imagen satelital.

- Combinación de bandas

Para implementar la metodología Corine Land Cover en la clasificación supervisada, es fundamental hacer combinaciones dentro de las bandas de cada imagen, por lo que es importante conocer las características de cada banda espectral. En ese orden de ideas, facilita la discriminación de las coberturas presentes, permitiendo una interpretación visual más precisa.

Así mismo, las composiciones de color dependen de las características de la imagen satelital permitiendo la correcta identificación de la cobertura y usos del suelo en los niveles de acuerdo con la clasificación Corine Land Cover.

- **Clasificación Supervisada**

Una vez preprocesadas las imágenes satelitales con sus respectivas correcciones, se procede a realizar el procesamiento de la información aplicando la clasificación supervisada usando como herramienta el software Envi 5.3 mediante el método Maximum Likelihood para las cinco imágenes Landsat. Este tipo de clasificación es principalmente controlado por el usuario ya que selecciona los píxeles que son representativos de las clases deseadas, es decir que cada píxel se asigna a la clase que tiene la mayor probabilidad. Posteriormente, asigna regiones de interés de entrenamiento – ROI's, mediante la delimitación de polígonos alrededor de sitios representativos, utilizando las diferentes combinaciones de bandas. Para aplicar este método es importante tener un conocimiento previo del área de estudio para identificar y confirmar de manera más precisa las coberturas presentes en el área.

Una vez elaborados los mapas como insumos principales de la clasificación supervisada, se procede a llevar los resultados al programa IDRISI Selva, donde se realiza un análisis multitemporal para identificar y cuantificar los cambios más significativos ocurridos en la cobertura y uso del suelo a través de las imágenes en el área de estudio. Se requiere un mínimo de dos imágenes en diferentes puntos en el tiempo, para analizar el comportamiento y abordar las características temporales del uso de la tierra.

7.3.3.3 DETERMINACIÓN Y CÁLCULO DEL CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO

En este orden de ideas, se tuvo en cuenta el estudio de suelos del departamento de Cundinamarca, en el cual se recopilieron las unidades cartográficas y los perfiles principales correspondientes a los suelos de la zona de estudio, en este caso pertenecientes a los municipios de Cota y Tenjo, en donde se examinaron muestras de suelos, verificando la ubicación, propiedades químicas y físicas, la vegetación propia del área, así como, el porcentaje de carbono presente.

A continuación, los perfiles de suelo y sus características propias del área de estudio de la subcuenca:

- **RLQa:** Este perfil de suelos se ubica en alturas entre los 2000 y 3000 msnm, con temperaturas entre 12 °C y 18°C; se caracterizan por ser pobremente drenados, ir de profundos a superficiales, sus texturas finas, por ello, en algunos sectores eventualmente son inundables, reaccionan al pH ácido, tienen una excelente capacidad de intercambio catiónico, alta saturación de aluminio, baja saturación de bases, factores que hacen difícil su uso para la agricultura (IGAC, 2000).
- **RLQa:** Este perfil de suelos se ubica en alturas entre los 2000 y 3000 msnm, con temperaturas entre 12 °C y 18°C; se definen como terrazas del río Bogotá, pues se caracterizan por sus leves inclinaciones y pendientes que van desde el 1% al 5%, son suelos drenados, de textura fina y profundos, delimitados por su nivel freático. También son depósitos de ceniza volcánica, lo que los hace tener una alta reacción al pH ácido y una excelente capacidad de intercambio catiónico, baja saturación de bases y aluminio. Este perfil de suelo tiene una fertilidad moderada (IGAC, 2000).

Seguidamente, para realizar el cálculo del carbono orgánico en el suelo (COS), se tomaron datos de interés como: el porcentaje de carbono presente en las muestras de suelo, la densidad aparente del suelo seco y el espesor en centímetros para calcular la cantidad de carbono orgánico en kilogramos por metro cuadrado; para ello se usó la siguiente fórmula:

$$\text{CO kg/m}^2 = \% \text{CO} * \text{Da (densidad aparente)} * \text{Espesor en cm} / 10$$

7.3.4 TERCERA FASE: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la clasificación supervisada permiten generar el análisis multitemporal, el cual consiste en identificar los cambios significativos en el tiempo que han sufrido las coberturas vegetales y el uso del suelo, asociadas a los factores que fueron direccionantes a estos cambios en la subcuenca del río Chicú en los periodos anteriormente descritos. En este análisis, se elaboraron varios mapas de coberturas haciendo uso del software ArcGis 10.5.1, donde se estima en términos cuantitativos el área en hectáreas y porcentaje de una cobertura y el respectivo cambio que ha tenido de un año a otro con otros tipos de cobertura.

A partir de la información ya descrita, se generó una tabla multitemporal de los cambios, con el propósito de comparar los periodos donde se presentan las transformaciones en el paisaje y cuantificar las variaciones en la cobertura y uso del suelo de la subcuenca.

Del mismo modo se realizó una tabla en la cual se calculó la cantidad potencial de carbono orgánico en el suelo de la subcuenca, según datos suministrados por el estudio de suelos del departamento de Cundinamarca, seleccionando puntos de muestreo correspondientes a los municipios de Cota y Tenjo, así como los perfiles, coordenadas de ubicación, la vegetación que se encuentra en el área, el uso actual del suelo, sus características y la cantidad de carbono orgánico estimada en porcentaje, en kilo por metro cuadrado, kilogramo por hectárea y en tonelada por hectárea.

En base al análisis e interpretación del cambio en las coberturas en un periodo de veinte 20 años y el análisis del potencial del carbono orgánico, se estableció que la transformación en el paisaje de la subcuenca del río Chicú se atribuye mayormente a las actividades económicas desarrolladas. Una vez identificados los factores incidentes en la problemática, se priorizaron las áreas propensas al detrimento ambiental según su vocación y uso, al igual que la biodiversidad y los ecosistemas vulnerables al cambio climático.

Seguidamente, a modo de solución de la problemática en mención, se diseñaron medidas de conservación y protección de la biodiversidad teniendo en cuenta su degradación y fragmentación del suelo detectado a través del análisis por cambios en las coberturas; al igual que estrategias que promuevan el mejoramiento en la calidad de vida de la población que hace uso de los recursos naturales. En vista de la estrecha relación del hombre y el medio ambiente, estas estrategias están encaminadas a los Objetivos de Desarrollo Sostenible agenda 2030 (FAO, 2015), teniendo en cuenta los componentes social, económico, político y ambiental para que así haya un balance articulado entre la seguridad alimentaria, la adaptación al cambio climático y la conservación de los ecosistemas dentro de la subcuenca del río Chicú.

8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LAS COBERTURAS VEGETALES

Para evaluar las transformaciones en el área de estudio, se tuvieron en cuenta los mapas obtenidos como resultados de los análisis de cambio de la cobertura y uso del suelo, donde se consideraron nueve categorías ajustadas a partir del tercer nivel con base en la metodología Corine Land Cover para los periodos previamente explicados, con el objetivo de tener una interpretación mucho más detallada de las coberturas presentes en la subcuenca del río Chicú, los cuales presentan cambios entre cada periodo analizado como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2 Cambios en la cobertura vegetal del área de estudio

CATEGORIA	2000		2005		2010		2015		2020	
	AREA (Ha)	AREA (%)	AREA (Ha)	AREA (%)	AREA (Ha)	AREA (%)	AREA (Ha)	AREA (%)	AREA (Ha)	AREA (%)
Tejido Urbano Continuo	350,71	2,47	370,13	2,60	384,25	2,70	336,47	2,37	1669,92	11,75
Otros Cultivos Transitorios	895,56	6,30	455,66	3,21	1047,52	7,37	964,17	6,78	264,33	1,86
Cultivos Confinados	1291,75	9,09	1118,50	7,87	1892,35	13,31	2778,52	19,55	1238,24	8,71
Pastos Limpios	3889,23	27,36	2748,51	19,33	4827,61	33,96	2494,28	17,55	2469,45	17,37
Mosaico de Pastos y Cultivos	1799,05	12,66	2109,96	14,84	1402,95	9,87	2336,54	16,44	2231,32	15,70
Bosque Denso	997,91	7,02	963,43	6,78	1115,00	7,84	1024,37	7,21	1335,13	9,39
Bosque Fragmentado	2586,23	18,19	2475,79	17,42	1918,90	13,50	2899,48	20,40	2751,51	19,36
Tierras Desnudas y Degradadas	1849,36	13,01	3855,99	27,13	1580,23	11,12	1342,26	9,44	1712,87	12,05
Lagunas; lagos y Ciénagas	403,79	2,84	117,55	0,83	46,71	0,33	39,42	0,28	40,05	0,28
Nubes	151,92	1,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	502,69	3,54

Fuente: Elaboración propia

Una vez definidas las coberturas del suelo, se realizó una comparación entre las mismas con el propósito de determinar los cambios ocurridos en los diferentes periodos.

Año 2000: Durante este año se pudo evidenciar de acuerdo a la Figura 15 que las coberturas con mayor extensión dentro del área de la subcuenca son los pastos limpios, con un estimado de 3889,23 Ha, (27,36%); en el segundo lugar se encuentra el bosque fragmentado con 2586,23 Ha (18,19%), seguidamente de las tierras desnudas y degradadas con 1849,36 Ha (13,01%). Dentro de las clases de coberturas observadas en este año también se distinguen mosaico de pastos y cultivos con 1799,05 Ha correspondiente al 12,66%, cultivos confinados con 1291,75 Ha representado el 9,09%, bosque denso con 997,91 Ha proporcional al 7,02%, otros cultivos transitorios 895,56 Ha (6,30%), lagunas, lagos y ciénagas 403,79 Ha (2,84%) y finalmente tejido urbano continuo 350,71 Ha (2,47%).

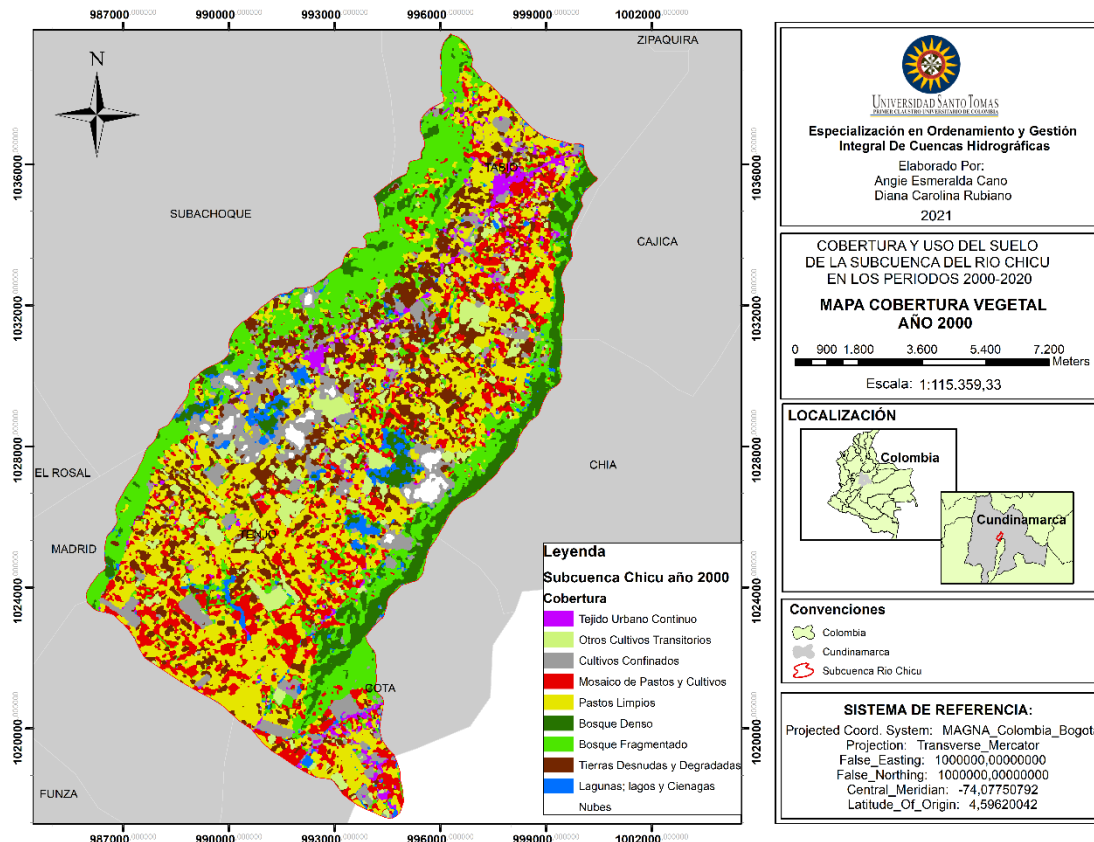


Figura 15 Mapa de Cobertura vegetal año 2000

Fuente: Elaboración propia

Año 2005: En este periodo se denoto un cambio en las coberturas con respecto al año inicial (2000), pues las tierras desnudas y degradadas tuvieron un alto impacto en el territorio de la subcuenca del río Chicú, esta categoría corresponde a un área de 3855,99 Ha equivalente al 13,01%, indicando un aumento de 2006,63 Ha (14,12%); en continuación están los pastos limpios con 2748,51 Ha (19,33%), categoría que tuvo una disminución de 1140,72 Ha (8,02%) con respecto al periodo anterior. Otra variación importante de acuerdo a la Figura 16, se evidencio en el bosque fragmentado toda vez que pasó a tener 2475,79 Ha (17,42%) presentando una baja de 110,44 Ha (0,78%), para el caso de mosaico de pastos y cultivos su área fue de 2109,96 Ha (14,84%) presentando una ganancia de 310,91 Ha (2,19%); los cultivos confinados con 1118,50 Ha (7,87%) tuvieron un decrecimiento de 173,25 Ha (1,22%), luego el bosque denso con 963,43 Ha (6,78%) se mantuvo con una pequeña reducción de 34,48 Ha (0,24%), la categoría perteneciente a otros cultivos transitorios mostró una pérdida relevante de 439,79 Ha (3,09%) en relación al periodo anterior quedando con una cobertura total de 455,66 Ha (3,21%), el tejido urbano continuo con 370,13 Ha (2,60%) creció levemente a 19,42 Ha (0,14%) y en último término se encuentran los lagos, lagunas y ciénagas teniendo 117,55 Ha (0,83%) que se redujeron en 286,25 Ha (2,01%) en relación al año 2000.

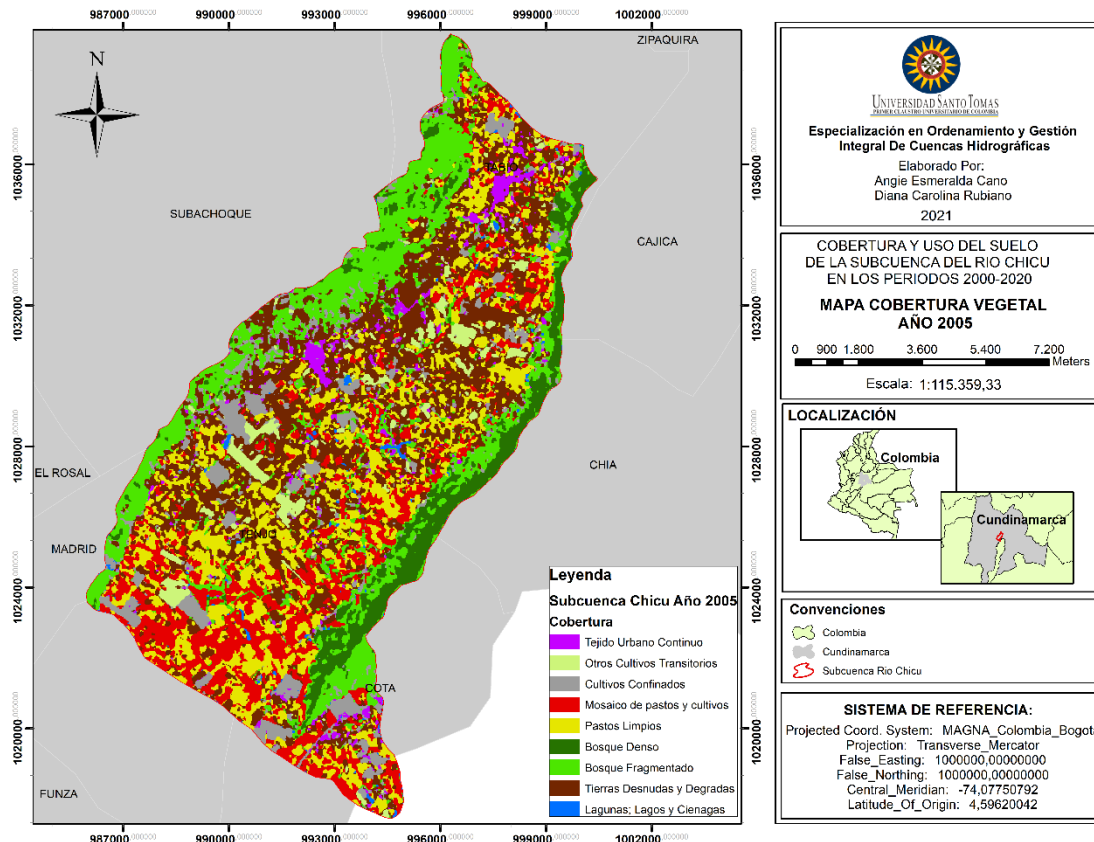


Figura 16 Mapa de Cobertura vegetal año 2005

Fuente: Elaboración propia

Año 2010: En el transcurso de este año según la Figura 17 predominó la categoría de pastos limpios con 4827,61 Ha (33,96%) pues se acrecentó en 2079,10 Ha (14,63%) con respecto al periodo del año 2005, otra de las categorías más significativas es el bosque fragmentado con 1918,90 Ha (13,50%) que se redujo en 556,89 Ha (3,92%), le siguen los cultivos confinados 1892,35 Ha (13,31%) teniendo una ganancia de 773,85 Ha (5,44%); También se aprecia que las tierras desnudas y degradadas con 1580,23 Ha (11,12%) disminuyeron significativamente a 2275,77 Ha (16,01%), de la misma manera la clase de mosaico de pastos y cultivos con 1402,95 Ha (9,87%) decreció 707,01 Ha (4,97%). A continuación, el bosque denso cuenta con 1115 Ha (7,84%) incrementando un poco su área comparada al periodo anterior en 151,57 Ha (1,07%), igualmente la categoría denominada otros cultivos transitorios con 1047,52 Ha (7,37%) dejó ver un crecimiento de 591,87 Ha (4,16%), el tejido urbano continuo con 384,25 Ha (2,70%) volvió a aumentar esta vez en 14,12 Ha (0,10%) y finalizando las lagunas, lagos y ciénagas 46,71 Ha (0,33%) que nuevamente decrece de modo importante a 70,84 Ha (0,50%).

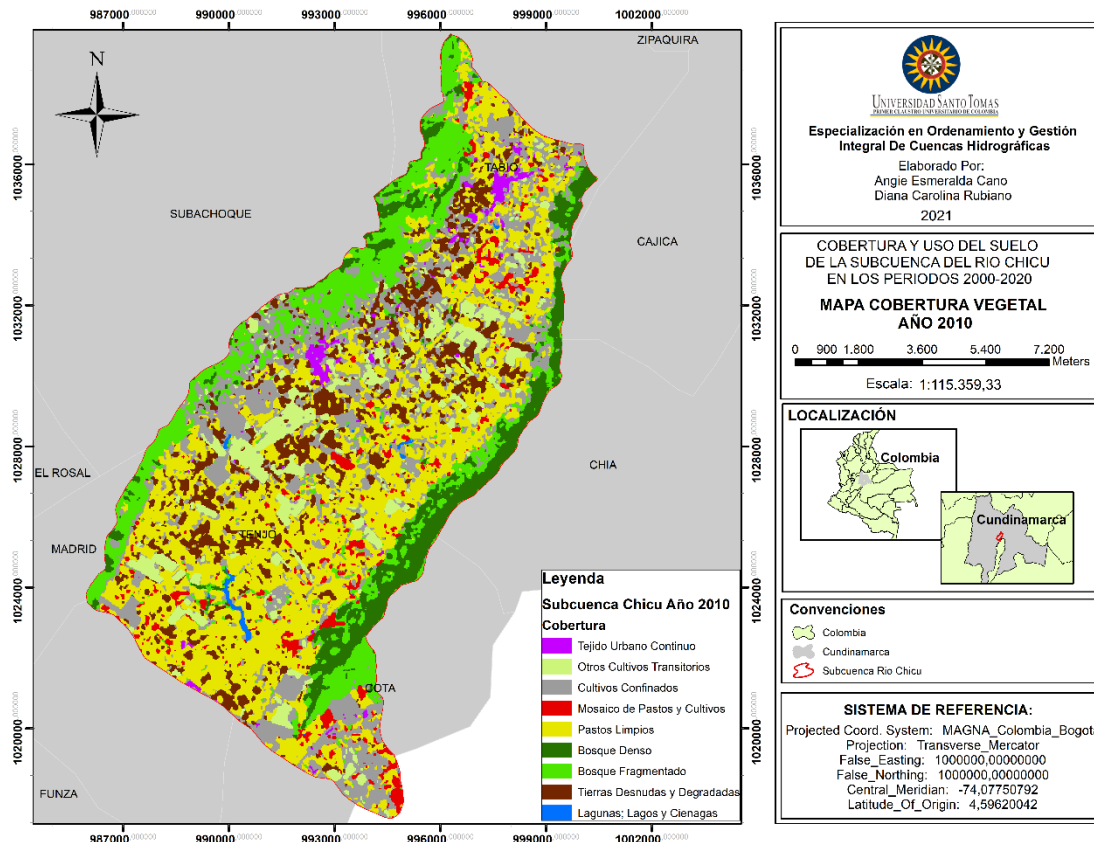


Figura 17 Mapa de Cobertura vegetal año 2010

Fuente: Elaboración propia

Año 2015: Referente al año 2015 según como se evidencia en la Figura 18, la categoría dominante corresponde al bosque fragmentado con 2899,48 Ha (20,40%) la cual incrementó 980,58 Ha (6,90%) en cuanto al periodo del 2010, la segunda cobertura más relevante fueron los cultivos confinados con 2778,52 Ha (19,55%) que también tuvieron un aumento de 886,17 Ha (6,23%); los pastos limpios obtuvieron 2494,28 Ha (17,55%) mostrando una baja de 2333,33 Ha (16,41%), la clase mosaico de pastos y cultivos que con 2336,54 Ha (16,44%) obtuvo una ganancia importante de 933,59 Ha (6,57%), posteriormente las tierras desnudas y degradadas alcanzaron 1342,26 Ha (9,44%) acrecentando su extensión en 237,96 Ha (1,67%). Para el caso del bosque denso con 1024,37 Ha (7,21%) este indicó una disminución de 90,63 Ha (0,64%), otra de las categorías afectadas fue la de otros cultivos transitorios la cual se estimó en 964,17 Ha (6,78%) obteniendo una reducción de 83,36 Ha (6,23%), el tejido urbano continuo comprendió una superficie de 336,47 Ha (2,37%) decreciendo en 47,78 Ha (0,34%) , esta inconsistencia en el presente estudio es producto de la falla parcial que sufrió el Corrector de Escaneo Lineal, la cual implicó la pérdida de hasta un 22% de los datos recopilado, la cantidad de píxeles y a la baja efectividad de las bandas en la imagen. Por último, lagunas, lagos y ciénagas con 39,42 Ha (0,28%) disminuyeron en un área de 7,29 Ha (0,05%).

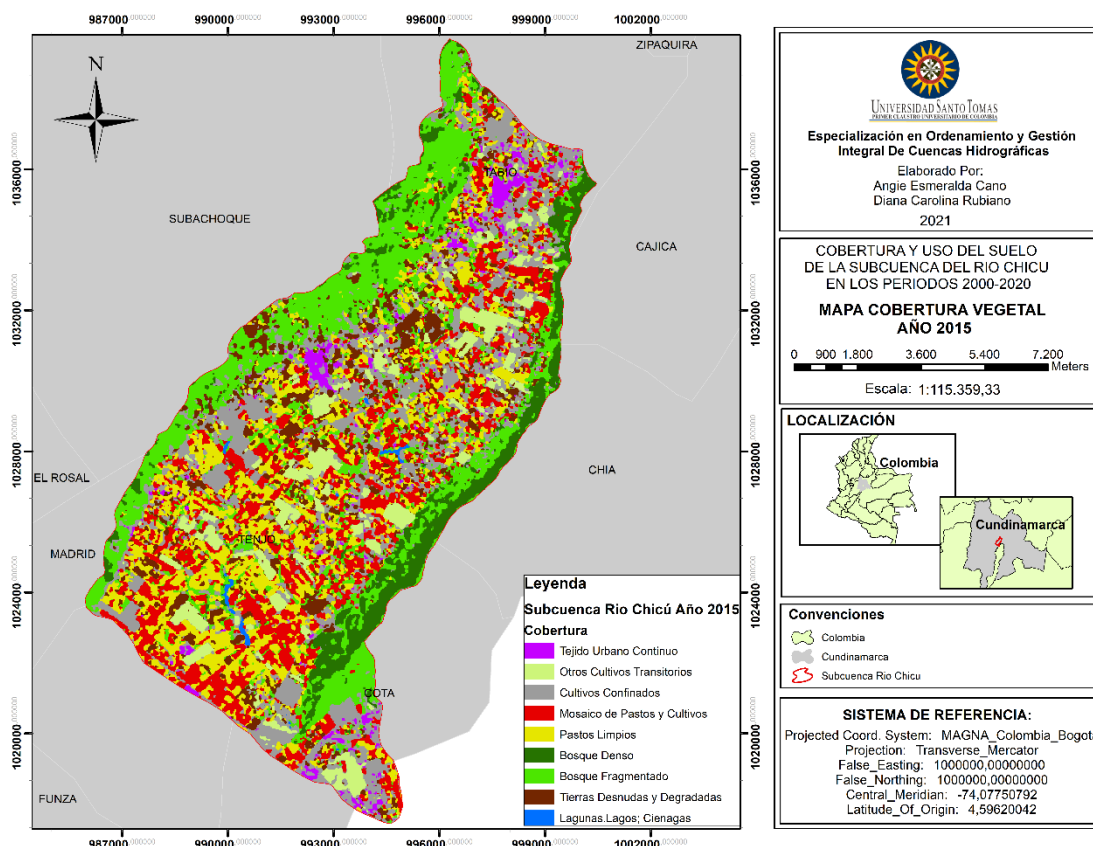


Figura 18 Mapa de Cobertura vegetal año 2015

Fuente: Elaboración propia

Año 2020: Con relación al año en mención prevalece la categoría de bosque fragmentado con 2751,51 Ha (19,36%) sin embargo se redujo su extensión a 147,97 Ha (1,04%) en comparación al año 2015, le sigue pastos limpios con un área de 2469,45 Ha (17,37%) la cual se mantuvo estable con una leve pérdida de 24,83 Ha (0,17%) respecto al periodo anterior; de igual manera mosaico de pastos y cultivos que se ubica en tercer lugar con 2231,32 Ha (15,70%) teniendo un decrecimiento de 105,22 Ha (0,74%), contrario a las tierras desnudas y degradadas que con 1712,87 Ha (12,05%) aumentaron en 360,61 Ha (2,61%), luego se localiza el tejido urbano continuo con 1669,92 Ha (11,75%) que también se acrecentó de manera significativa con 1333,46 Ha (9,38%), de manera similar el bosque denso con sus 1335,13 Ha (9,39%) obtuvo una ganancia de 370,61 Ha (2,19%). Opuesto a las clases mencionadas previamente los cultivos confinados con una superficie de 1238,24 Ha (8,71%) que evidenciaron una reducción de 1540,28 Ha (10,84%), así como otros cultivos transitorios que con 264,33 Ha (1,86%) perdió 699,84 Ha (4,92%) y finalmente lagunas, lagos y ciénagas con 40,05 Ha (0,28%) cuya categoría se mantiene constante con un ligero incremento de 0,63 Ha en lo corrido de estos años como se observa en la Figura 19.

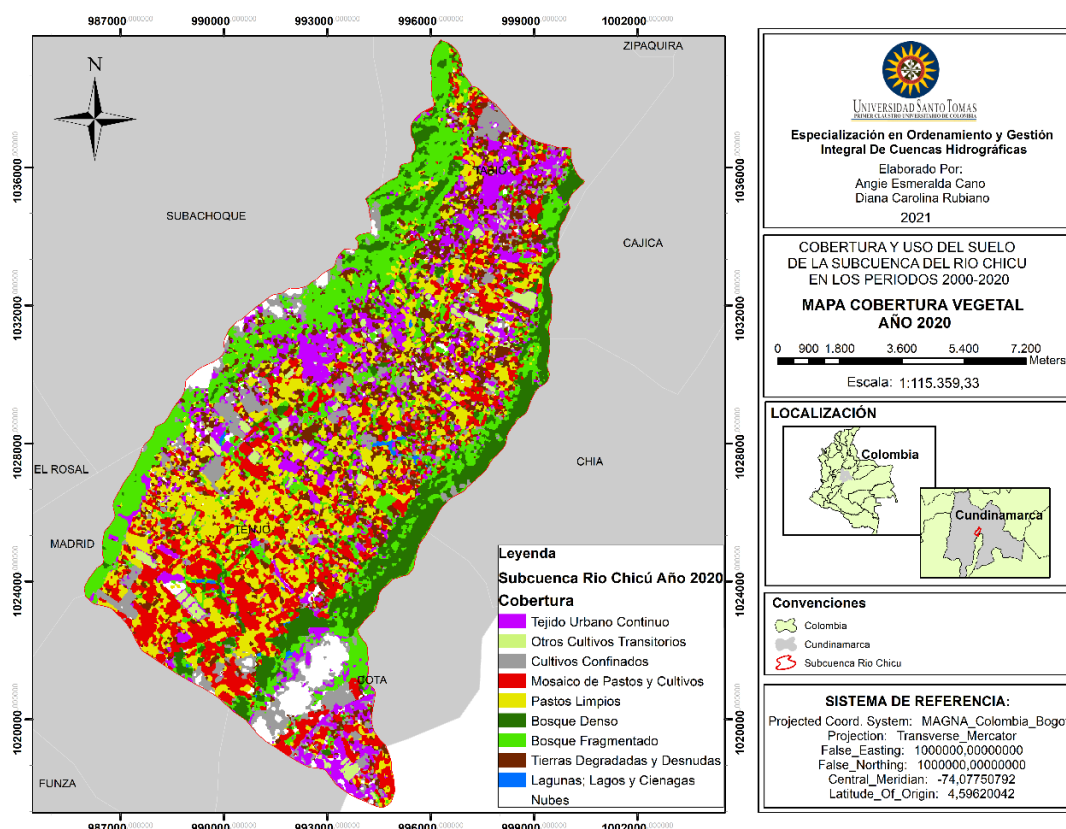


Figura 19 Mapa de Cobertura vegetal año 2020

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a estos análisis donde se ilustra la información de las clasificaciones de los tipos de cobertura para los diferentes periodos, se puede apreciar cómo se han visto afectadas las coberturas en ganancias y pérdidas. Las pérdidas de la cobertura afectan los servicios que prestan los ecosistemas, tales como los de provisión, regulación, cultural y soporte, los cuales resultan importantes para la población de la subcuenca y su medio de vida.

8.2 ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DETECCIÓN DE CAMBIOS

Tabla 3 cambios en la clasificación de la cobertura

CATEGORIA	2000		2005		2010		2015		2020	
	AREA (Ha)	AREA (%)	AREA (Ha)	AREA (%)	AREA (Ha)	AREA (%)	AREA (Ha)	AREA (%)	AREA (Ha)	AREA (%)
Deforestación	557,91	7,95	728,44	9,31	361,71	4,71	733,93	8,99	567,07	6,65
Degradación Suelo	3192,66	45,52	2280,65	29,16	1443,51	18,81	2274,82	27,86	1832,18	21,48
Desecamiento	213,05	3,04	69,86	0,89	17,46	0,23	25,20	0,31	187,88	2,20
Recuperación del suelo	1865,77	26,60	3531,71	45,15	3703,16	48,24	1404,77	17,20	2158,20	25,30
Reforestación	461,07	6,57	435,33	5,57	1176,26	15,32	1413,95	17,32	1605,33	18,82
Urbanización	107,37	1,53	42,39	0,54	181,55	2,37	1364,11	16,71	1406,45	16,49
NA	616,39	8,79	734,00	9,38	792,52	10,32	948,24	11,61	773,53	9,07

Fuente: Elaboración propia

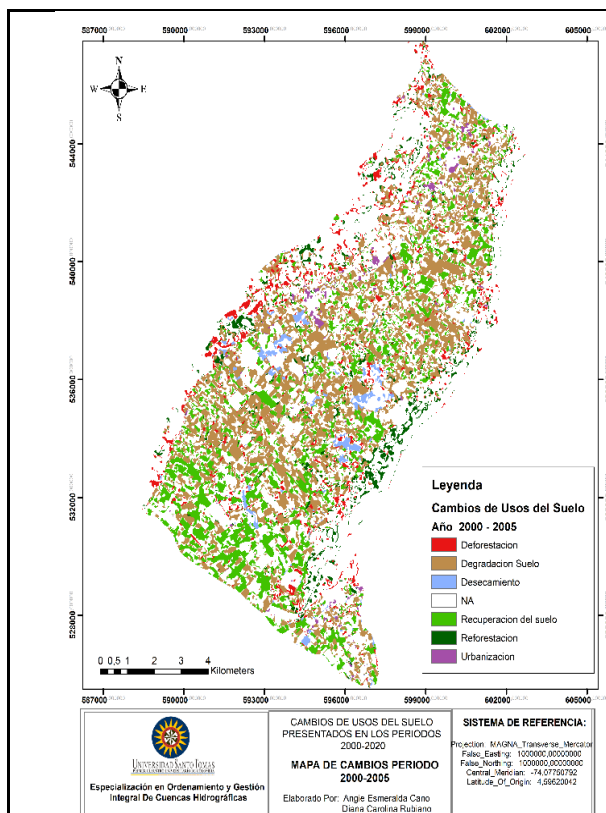


Figura 20 Cambios de usos del suelo de 2000 al 2005

Fuente: elaboración propia

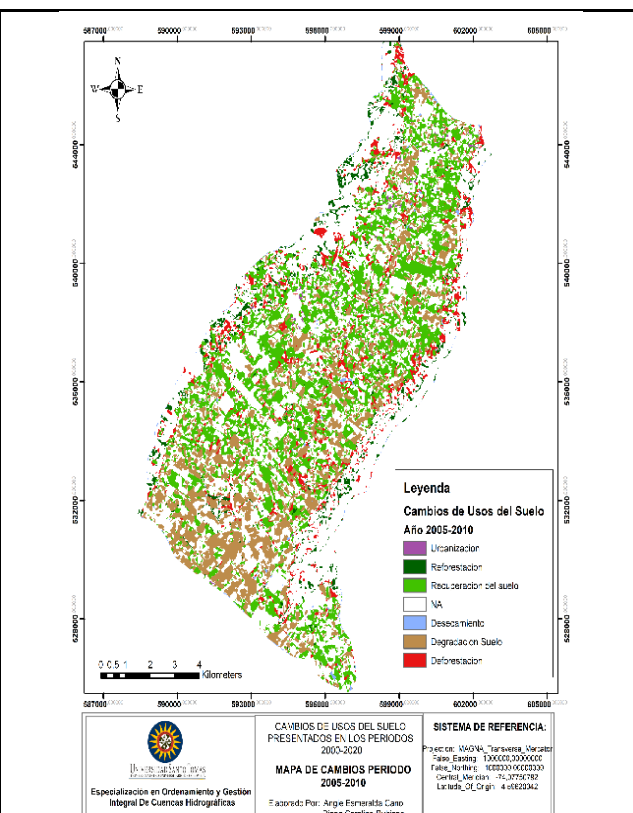


Figura 21 Cambios de usos del suelo 2005 al 2010

Fuente: elaboración propia

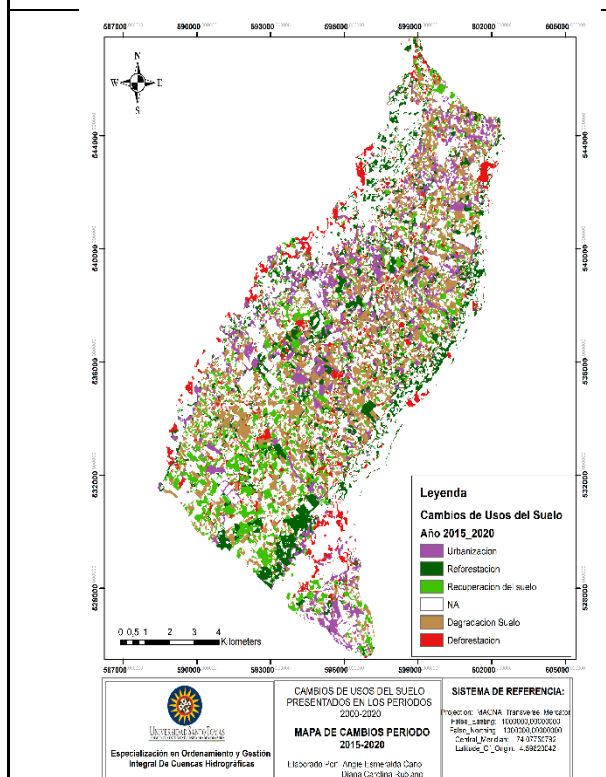


Figura 22 Cambios de usos del suelo 2010 al 2015

Fuente: elaboración propia

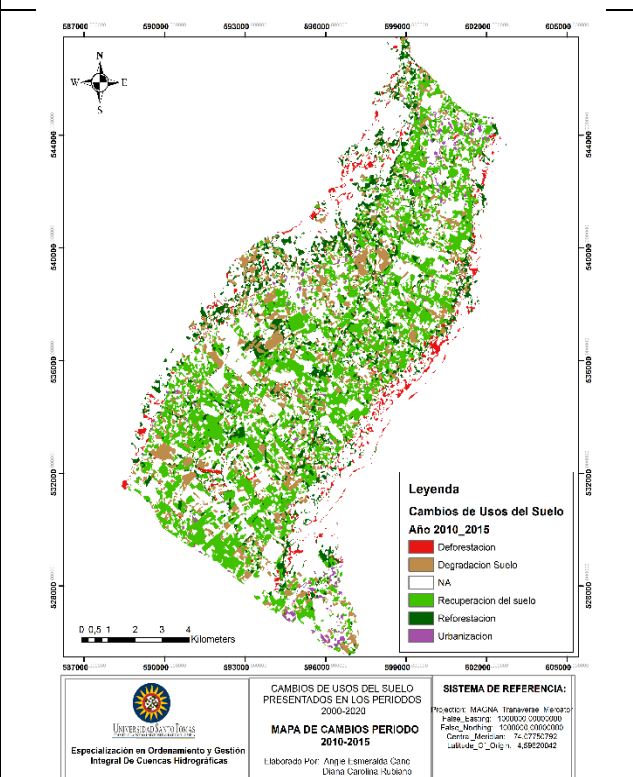


Figura 23 Cambios de usos del suelo 2015 al 2020

Fuente: elaboración propia

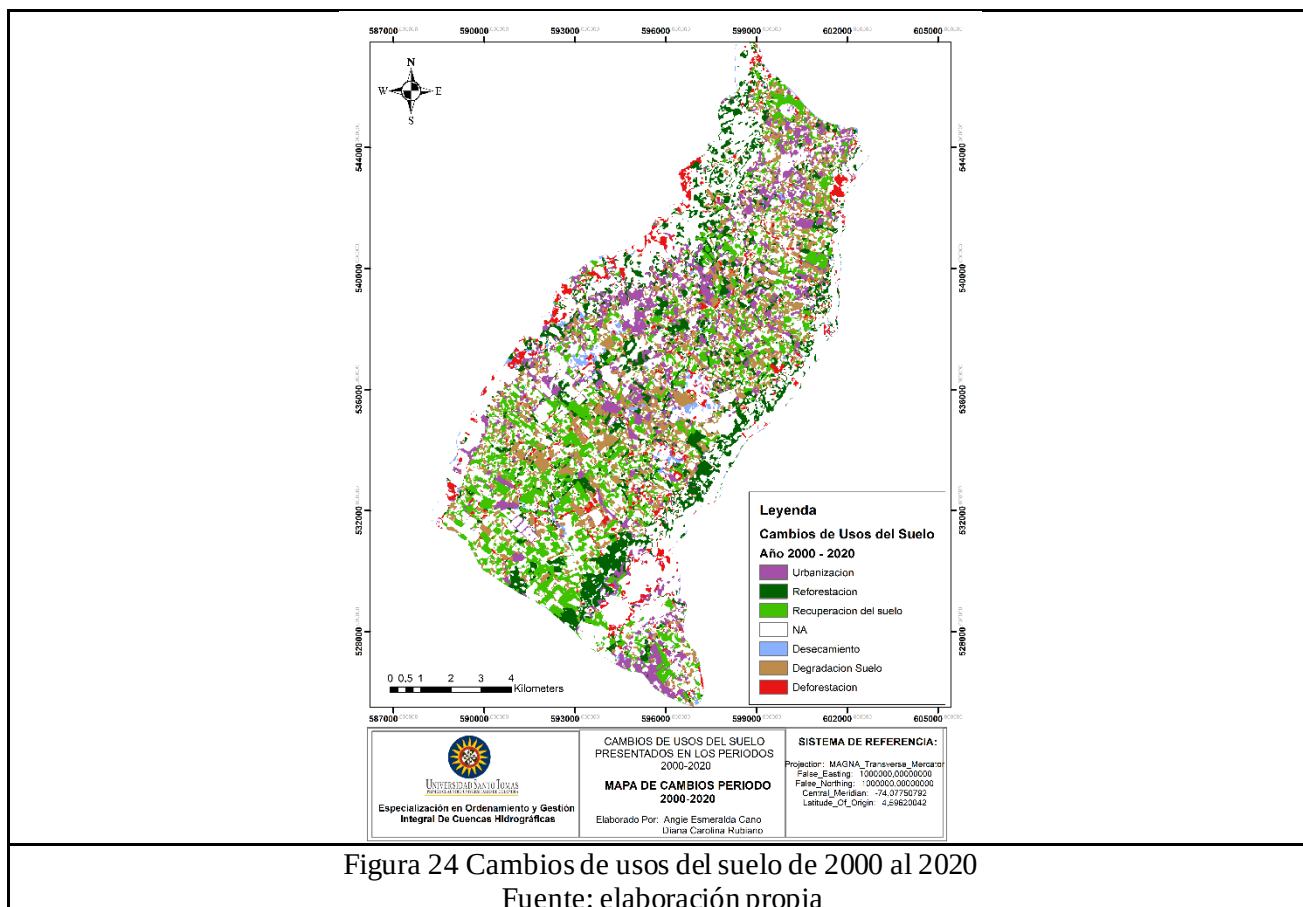


Figura 24 Cambios de usos del suelo de 2000 al 2020
Fuente: elaboración propia

Deforestación: Durante el periodo del año 2000 al 2005 esta categoría indicó un total de 557,91 Ha (7,95%). Para la siguiente etapa comprendida entre los años 2005 a 2010 esta clase presentó un total de 728,44 Ha (9,31%) mostrando un incremento en el área de 1,36 % (170,53 Ha); más adelante en la fase de los años 2010 a 2015 la deforestación tuvo una superficie de 361,71 Ha (4,71%) denotando una disminución importante en su extensión de 366,73 Ha (4,60%), luego en el intervalo de los años 2015 al 2020 esta categoría con 733,93 Ha (8,99%) aumento sobre el territorio de la subcuenca en un 4,28% (372,72 Ha). Finalmente en el lapso de los años 2000 y 2020, equivalente a 20 años se evidencia que la deforestación con un total de 567,07 Ha (6,65%) se debe a un proceso en donde se impactan de manera negativa principalmente la estructura del bosque denso y el bosque fragmentado por el desarrollo de actividades antrópicas como la degradación por la tala y quemas, la ejecución de obras de infraestructura, en baja medida la implementación de minería, el cambio del uso del suelo para ampliar la frontera de pastos limpios en donde estos terrenos se usan para la producción agrícola y ganadera; así como hectáreas de tierra alteradas para la construcción de proyectos de urbanización.

Lo anterior también aporta al aumento de la producción de CO₂, pues la vegetación en especial el bosque denso capta el dióxido de carbono e impide que este se libere a la atmósfera contribuyendo al calentamiento global.

Degradación del suelo: Para el rango correspondiente a los años 2000 al 2005 se determina que esta categoría ocupa una extensa área de 3192,66 Ha (45,52%), de la misma manera en el periodo de los años 2005 a 2010 si bien disminuyó en 912,02 Ha (16,36%) sigue manteniendo un alto porcentaje de degradación con 29,16% (2280,65 Ha); seguidamente en la etapa entre los años 2010 a 2015 esta categoría fue de 1443,51 Ha (18,81%) teniendo nuevamente un decrecimiento de 837,14 Ha (10,35%). Durante el periodo de tiempo entre el 2015 al 2020 la degradación del suelo obtuvo un crecimiento significativo del 9,06% (831,31Ha) llegando a un total de extensión total de 2274,82 Ha (27,86%).

La época entre los años 2000 al 2020 refleja que la degradación del suelo tiene un promedio de 1832,18 Ha que representa el 21,48%, teniendo una relación directa con la categoría de cobertura tierras desnudas y degradadas, esto como causa de la ignorancia en lo concerniente a la importancia que poseen los suelos, sus cualidades, la manera adecuada para recuperarlos y restaurarlos, adicionalmente el desinterés por parte de las entidades involucradas en la planeación del uso del suelo y el ordenamiento territorial; otros aspectos relevantes que perjudican a los suelos son las actividades agropecuarias intensivas y la contaminación que conlleva el uso de agroquímicos y la mecanización, de igual manera que el crecimiento de urbanizaciones quienes no aplican prácticas de subsistencia sustentables.

Como precedente a esta descripción, también es importante mencionar que dentro de la degradación del suelo se incluye el deterioro del carbono orgánico, pues este se redistribuye a causa de la erosión perdiéndose una parte y al mismo se reduce el rendimiento agrícola.

Desecamiento: Entre los años 2000 al 2005 el desecamiento cubrió una zona de 213,05 Ha (3,04%), para el periodo comprendido entre el año 2005 y 2010 esta categoría determinó 69,86 Ha (0,89%) de las cuales disminuyeron 143,19 Ha (2,14%), seguidamente en el espacio de los años 2010 al 2015 se calculó una cantidad de 17,46 Ha (0,23%) esto denota un decrecimiento importante del área que ocupa el recurso hídrico en la subcuenca del 0,67% (52,40 Ha); luego en la etapa de los años 2015 y 2020 esta clase tuvo un leve crecimiento del 0,08% (7,74 Ha) terminando esta fase de tiempo con 25,20 Ha (0,31%).

Para finalizar en el margen de tiempo entre los años 2000 y 2020 se puede constatar que el desecamiento abarcó un total de 187,88 Ha que corresponde a un 2,20% de los cuerpos de agua que pertenecen a la categoría de cobertura de lagunas, lagos y ciénagas. Este deterioro se atribuye a causas naturales como los fenómenos de la niña y el niño, además de la influencia del cambio en el uso del suelo y su deterioro el cual está estrechamente relacionado con los procesos hidrológicos, la población creciente por la urbanización, la oferta natural limitada para sus diferentes usos, implicando a los ecosistemas propios de la subcuenca y a las actividades agrícolas y pecuarias en donde la contaminación se acrecienta generando escasez del recurso hídrico. Otro factor relevante es la falta interés por parte de las instituciones y sus escasos programas educativos, además del poco sentido de pertenencia por parte de los pobladores hacia el recurso hídrico presente en la subcuenca ocasionando un conflicto socioeconómico y ambiental en dichas áreas.

Recuperación del suelo: Para esta categoría los cambios notorios dentro del lapso del año 2000 al 2005 son del 26,6% (1865,77 Ha), más adelante entre los años 2005 al 2010 se evidencio un crecimiento considerable en la recuperación del suelo comprendida en 1665,95 Ha (18,55%) para un total de 3531,71 Ha (45,15%) con respecto a este periodo. Continuando, en el espacio de tiempo del año 2010 al 2015 se observó un ligero incremento del 3,09% (171,45 Ha) comparado con la etapa anterior, teniendo como resultado 3703,16 Ha (48,24%); más adelante entre los años 2015 al 2020 estima una reducción en su área de 2298,40 Ha (31,04%) que acumula en su totalidad 1404,77 Ha (17,20%).

La recuperación del suelo en el plazo de tiempo de 20 años (2000 al 2020) corresponde a 2158,20 Ha (25,30%), esta transformación se debe mayormente a la expansión de las categorías de cobertura pastos limpios y mosaico de pastos y cultivos, pues la población asentada en la subcuenca ha reemplazado áreas degradadas con dichas plantaciones, asimismo recuperó la fertilidad de los terrenos con agroquímicos, que posteriormente se usaron en actividades de subsistencia como la agricultura y la ganadería, sin embargo estas intervenciones no son del todo eficientes, pues sus prácticas aún deterioran el territorio y ponen en riesgo la seguridad alimentaria de la población.

Reforestación: En el rango de los años 2000 a 2005 la reforestación alcanzó las 461,07 Ha (6,57%), seguida del periodo 2005 al 2010 el cual se mantuvo con una pequeña baja de 25,74 Ha

(1,01%) comprendiendo un total de 435,33 Ha (5,57%), a continuación el periodo correspondiente a los años 2010 al 2015 indicaron un 15,32% (1176,26 Ha) con un crecimiento significativo del 9,76% (740,93 Ha); de igual manera para el espacio temporal de los años 2015 al 2020 esta categoría siguió incrementando en 237,69 Ha (1,99%), es decir su totalidad es de 1413,95 Ha (17,31%). La reforestación dentro del lapso de los años 2000 al 2020 acumulo 1605,33 Ha (18,82%), si bien las administraciones municipales hacen un intento por implementar algunos programas de restauración de la ronda del río Chicú, delimitando algunas zonas de bosque para su protección y preservación, además de realizar algunas capacitaciones o poner en marcha políticas para el cuidado y conservación ambiental, estos esfuerzos aún son pocos y no solucionan el problema de fondo.

Urbanización: Iniciando el periodo de tiempo de los años 2000 al 2005 la categoría de urbanización consiguió las 107,37 Ha (1,53%), en el rango de tiempo entre el año 2005 al 2010 se observa una reducción de 64,98 Ha (0,99%) con una totalidad de 42,39 Ha equivalente al 0,54% esto debido a la pérdida de información a causa de la falla parcial que sufrió el Corrector de Escaneo Lineal (SLC) presentada en el año 2003; seguidamente para los años 2010 al 2015 con 181,55 Ha (2,37%) esta clase se incrementa en 139,16 Ha (1,82%) con respecto al periodo previo y finalmente entre los años 2015 a 2020 la urbanización tiene un crecimiento relevante de 1182,56 Ha (14,34%) en contraste con el intervalo de tiempo anterior abarcando un resultado de 1364,11 Ha (16,71%).

En la temporada del año 2000 al 2020 la cantidad de área corresponde a 1406,45 Ha (16,49%); la causa de la urbanización desmesurada, viene acompañada de la modernización del casco urbano y suburbano, el desborde demográfico de emigrantes principalmente de la ciudad de Bogotá, quienes usan a los municipios cercanos como dormitorio, lo anterior también se describe como una urbanización social, económica y cultural, esto conlleva a un aumento en la demanda de servicios públicos especialmente en el acueducto y alcantarillado, de la misma manera afecta a la producción alimentaria.

8.3 ANÁLISIS DEL CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO EN LA ZONA DE ESTUDIO

El carbono circula de manera constante a través de los diferentes estados, sólido, líquido y gaseoso. Las actividades antrópicas, como la quema de combustibles fósiles, la deforestación, el desecamiento de fuentes hídricas, la labranza y el sobrepastoreo, han interrumpido el ciclo del carbono desequilibrándolo.

El ciclo del carbono es parte fundamental para las plantas ya que ellas absorben dióxido de carbono, luz solar y agua. El dióxido de carbono se convierte en carbohidratos y estos azúcares se bombean a la vida del suelo, que incluye bacterias, hongos y todas las cosas vivas que solo podemos ver con un microscopio. Si el suelo no está vivo, o si ha sido destruido por la labranza, productos químicos o pesticidas, entonces el carbono vuelve a liberarse a la atmósfera en lugar de almacenarse en el suelo como materia orgánica.

Según los resultados que se obtuvieron del análisis multitemporal, reflejan que los cambios observados en las coberturas tienen una relación directa con las actividades de subsistencia de la población en la subcuenca, dando como efecto alteraciones en las unidades del suelo y su uso; según lo anterior, se evidencio que las categorías que tuvieron más incidencia dentro de la transformación paisajística están asociadas a actividades agropecuarias, el sobrepastoreo (pastos limpios) y la deforestación. Dicho esto, es de resaltar que el suelo se constituye como un recurso natural megadiverso que provee productos y servicios a los ecosistemas y a la sociedad. Desafortunadamente, la interacción del ser humano con la naturaleza y su necesidad de abastecerse, ha conllevado a la implementación de prácticas agropecuarias que son dañinas para la salud del suelo, que con el tiempo crean ciertos problemas para la humanidad como: el poner

en riesgo la seguridad alimentaria, la inestabilidad climática, la generación de dióxido de carbono y el calentamiento global.

Posteriormente, se mencionan algunas de las actividades que son perjudiciales no solo para la salud del suelo, sino también afectan la rentabilidad de la ganadería y agricultura; además tienen un impacto negativo sobre las cuencas hidrográficas y su biodiversidad, generando una crisis social dentro de las comunidades que se benefician de los recursos naturales provenientes de esta. Para el caso de la agricultura, en el país se usan prácticas tradicionales como la labranza y el uso de agroquímicos dentro de los cultivos, que en primera instancia tienen como objetivo aumentar el rendimiento del suelo, sin embargo, con el paso del tiempo se constató que las propiedades de este recurso se empobrecieron; esto dado a que estas actividades traen consigo inconvenientes dentro del ecosistema del suelo, reduciendo su almacenamiento de carbono y su capacidad para regenerarse.

La labranza tradicional que se desarrolla en la subcuenca del río Chicú pone en práctica el volteo y la ruptura del suelo, en donde a simple vista se observan hileras organizadas que aumentan la aireación y se mantienen libres de malezas, al igual que el uso de fertilizantes y agroquímicos para mejorar la productividad en los cultivos, sin imaginar que este acostumbrado proceso degrada las cualidades del suelo. Este tipo de agricultura se conoce como degenerativa, pues mata y destruye las redes de los hongos micorrízicos, los cuales son fundamentales para la producción de ácidos y enzimas, nutrientes que son base para que las plantas puedan combatir enfermedades y plagas, manteniendo la regeneración y salud del suelo estable. Igualmente pulveriza los agregados del suelo incrementando la erosión por el viento, el agua y su capacidad de absorción; transporta el carbono almacenado en el suelo a su superficie oxidándolo más rápido, altera el hábitat de los organismos que viven en el suelo y aumenta la tasa de evaporación.

Por otra parte, dentro del proceso de preparación del suelo para ser cultivado este tradicionalmente se despoja de malezas y rastrojos, utilizando maquinaria o realizando quemas en la superficie de las tierras, esto dejando al suelo desnudo propiciando el aumento en la erosión por procesos hídricos y eólicos, permitiendo la quema del carbono en el suelo a través del calor, destruye los agregados del suelo endureciendo la superficie y reduciendo la infiltración del agua lluvia. Disminución de las lluvias por efecto del cambio en el ciclo del agua, pues las unidades de suelo tienen un efecto de islas de calor.

Así mismo, la deforestación presente en la subcuenca del río Chicú, juega un papel significativo en la reducción de la cantidad y calidad del carbono orgánico presente en su suelo, al igual que actividades como la ganadería y los cultivos, que no permiten la caída de vegetación muerta sobre la superficie del suelo, deteniendo parte del proceso de descomposición de la materia orgánica, dado que esta no se integra y genera problemas como la erosión y oxidación de componentes orgánicos. Adicionalmente, la deforestación dada dentro de la subcuenca es producto de la tala de bosque denso para cambiar el uso del suelo a urbanización, pastizales y tierras de cultivo, contribuyendo a una excesiva liberación de carbono, quedando atrapado en la atmósfera como dióxido de carbono siendo un gas de efecto invernadero que influye al calentamiento global y de esta manera la tierra degradada pierde su capacidad de capturar carbono de vuelta al suelo.

Teniendo en cuenta la relevancia del carbono orgánico dentro del contexto de actividades de subsistencia desarrolladas en el suelo de la subcuenca y el potencial de aprovechamiento que este tiene para la mejora en la calidad de cosechas, salvaguardando así la seguridad alimentaria de sus habitantes, se hace indispensable calcular la cantidad de carbono presente en el suelo de la subcuenca del río Chicú; a partir de los datos recopilados en el estudio de suelos del departamento de Cundinamarca, se generó la Tabla 4:

Tabla 4 Contenido del carbono orgánico en el suelo en la subcuenca del río Chicú

CONTENIDO DEL CARBONO ORGÁNICO POR PERFIL DE SUELOS EN LA ZONA DE ESTUDIO															
UNIDAD CARTOGRÁFICA	PERFIL	TAXONOMIA	MUNICIPIO	COORDENADAS	VEGETACIÓN NATURAL	USO ACTUAL	PROFUNDIDAD cm	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	TEXTURA	DENSIDAD APARENTE	CARBONO ORGÁNICO %	CO KG/M2	CO EN KG/HA	TOTAL CO POR PERFIL (KG/HA)	TOTAL CO POR PERFIL (TON/HA)
RLOa	P - 2	Typic Dystrudepts	Cota	LAT: 4° 45' 29" LONG: 74° 07' 27"	Talada	Potrero con pasto kikuyo	0 - 20	Color en húmedo pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2), con manchas rojizas, (5 YR 5/8), abundantes finas y medias, prominentes; textura arcillosa; estructura en bloques subangulares, media débil; consistencia en húmedo firme, en mojado pegajosa, plástica; frecuentes poros medianos, tubulares, intrapedales; abundantes raíces finas, vivas; poca actividad de macro organismos; límite gradual plano; pH: 4.7.	Ar	1,1	1,77	3,89	38.940	114.972	115,0
							20 - 74		Ar	1,1	1,28	7,60	76.032		
RLQa	AC - 8	Pachic Melanudands	Tenjo	LAT: 4° 49' 58" LONG: 74° 08' 48"	Talada	Ganadería intensiva en pasto kikuyo	0 - 60	Color en húmedo negro (10YR2/1); textura franco arcillo limosa; estructura en bloques subangulares, media y gruesa, moderada; consistencia en húmedo friable, en mojado no pegajosa, no plástica; frecuentes poros muy finos y finos y pocos medianos; muchas raíces muy finas, finas y medias, frecuentes gruesas vivas; mucha actividad de macro organismos (lombriz y chiza); reacción fuerte a violenta al NaF y ligera al H2O2; límite claro y plano; pH: 5.8.	FaRL	0,59	11,65	41,24	412.410	494.310	494,3
							60 - 105		FaRL	0,91	2,00	8,19	81.900		
	CT - 4a	Andic Dystrudepts	Cota	LAT: 4° 50' 36" LONG: 74° 05' 03"	Talada	Cultivos de arveja	0 - 15	Color gris muy oscuro (10YR3/1); textura franca; estructura en bloques subangulares fina y mediana, débil; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajosa, no plástica; pocos poros finos, tubulares, discontinuos; escasos macro organismos; abundantes raicillas; fuerte reacción al NaF; límite gradual y ondulado; pH: 5.5.	F	0,8	8,82	10,58	105.840	374.640	374,6
							15 - 47		FA	1,2	7,00	26,88	268.800		

Fuente: Editado por las autoras de: INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI (2000). Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Cundinamarca. Tomo 2 y anexos. Págs. 315 a 322 y 826 a 836. Subdirección de Agrología. Bogotá, Colombia.

Al compilar y cuantificar los datos previamente estimados en la tabla 4 la cual tiene el contenido de carbono orgánico por perfil del suelo, la cantidad total de carbono orgánico en toneladas por hectárea, equivale a 983,9. Esto se debe al contenido de materia orgánica que se halla en los climas fríos, pues el volumen del carbono orgánico en el suelo (COS) se incrementa con la altura sobre el nivel del mar; para el caso específico de la subcuenca del río Chicú, esta se ubica sobre los 2000 y 3000 msnm, que le permite acumular en grandes cantidades material vegetal descompuesto.

Otro aspecto relevante, es la ceniza volcánica que se encuentra en los suelos de la sabana, pues su composición físico química (alófanos), provoca suelos con un pH ácido y baja saturación de bases; si al compuesto anterior se le suma la materia orgánica y la temperatura baja, se propicia un ambiente perfecto para acumular humus, siendo resistente a los microorganismos que lo descomponen, retrasando la mineralización (IDEAM, 1996).

9 MEDIDAS PARA LA CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE LA BIODIVERSIDAD EN LOS ECOSISTEMAS VULNERABLES AL CAMBIO CLIMÁTICO Y DISEÑO DE ESTRATEGIAS EN PRO A LA COMUNIDAD.

En la subcuenca del río Chicú se identifica como problemática principal la transformación paisajística y su interrelación con la degradación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. A través del análisis multitemporal de cambio de coberturas y el análisis del potencial de carbono orgánico, se determinaron las áreas priorizadas para la conservación, teniendo en cuenta su vocación, uso del suelo y vulnerabilidad al cambio climático dentro del área de estudio.

Se estructuran las medidas de conservación y protección para la biodiversidad en la subcuenca del río Chicú, con el objetivo de impulsar el desarrollo sostenible por medio de la distribución equilibrada de los servicios ecosistémicos y diseño de estrategias que contribuyan al bienestar de la población y su seguridad alimentaria.

Estas estrategias están enfocadas en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible agenda 2030 (FAO, 2015), teniendo como eje los componentes social, económico, político y ambiental; así mismo busca aplicar herramientas de planificación y seguimiento tanto a nivel nacional como local, sirviendo como instrumento de enlace entre el hombre y el medio ambiente, por medio de políticas públicas de presupuesto, monitoreo y evaluación.

Seguidamente estos son los objetivos a fin con la problemática del área de estudio:

- **Objetivo N° 12:** Promueve la producción y consumo responsable de los recursos naturales favoreciendo la reducción de costos en el ámbito económico, ambiental y social, con miras a disminuir la pobreza.
- **Objetivo N° 13:** Busca generar acciones de adaptación y mitigación del cambio climático causado por las actividades humanas.
- **Objetivo N° 15:** Fomenta la protección, conservación y uso sostenible de los ecosistemas terrestres, la biodiversidad y el suelo, garantizando la seguridad alimentaria.

Dicho esto, se presentan las estrategias planteadas para nuestra área de estudio:

Estrategias sociales:

- Poner en funcionamiento un sistema de incentivos económicos dirigido a los sectores clave de la zona, esto por implementar prácticas sostenibles en el sector agrícola, ganadero y forestal.
- Ejecutar diferentes actividades que informen y orienten a la ciudadanía sobre la participación, concienciación e incorporación en programas dirigidos a la conservación de la biodiversidad en ecosistemas vulnerables, el cambio climático y la seguridad alimentaria.
- Aplicar programas referentes a la educación, capacitación y orientación sobre las actuales técnicas para la adaptación del cambio climático y el desarrollo de la agricultura regenerativa.
- Difundir el intercambio de información sobre las buenas prácticas y su contribución a la conservación de la biodiversidad y el cambio climático, así como sensibilizar a las instituciones involucradas y los sectores clave (agricultores y ganaderos).

Estrategias económicas:

- Efectuar una valoración económica que determine el efecto que tiene el cambio climático sobre los bienes y servicios ecosistémicos, esto como medida de control, garantía de conservación y sostenibilidad ambiental.

- Los municipios de Tabio, Tenjo y Cota deberán solicitar al IGAC su actualización como gestores catastrales, de esta manera podrán ejercer de manera autónoma su catastro cesando así el impacto de la urbanización desmedida, consolidando sus presupuestos y mejorando la calidad de vida de sus habitantes.
- Diseñar un sistema de seguimiento y control al espacio geográfico-turístico, dado que el cambio climático puede perturbar el equilibrio de los bienes y servicios del ecosistema de la subcuenca del río Chicú disminuyendo su potencial ecológico y turístico.

Estrategias políticas:

- Diseñar políticas públicas que incluyan al catastro como una herramienta para que las entidades y comunidad de los municipios de Tabio, Tenjo y Cota obtengan la titulación y formalización de predios rurales y urbanos, que a su vez contribuye al recaudo de información para la actualización del POT y el uso del suelo.
- Incluir dentro de las políticas públicas enfoques que conduzcan a la restauración ecológica y conservación de la biodiversidad dentro de la subcuenca del río Chicú teniendo en cuenta al cambio climático como variable.
- Desarrollar y fomentar lineamientos o instrucciones que incluyan los efectos del cambio climático dentro de los mecanismos usados para la evaluación ambiental estratégica e impacto ambiental, dirigido a los planes y proyectos hidrológicos de la subcuenca del río Chicú.
- Establecer y aplicar guías o manuales que se centren en el desarrollo de la agricultura regenerativa, con el objetivo de que la población de la subcuenca del río Chicú se adapte al cambio climático a corto plazo, con base a la planificación y ejecución de programas esenciales como lo son las prácticas relacionadas con labranza cero, siembra directa, rotación de cultivos, cultivos de cobertura, agroecología (biofertilizantes), cambios de fecha de siembra, apoyadas con predicciones del clima, como herramienta para la toma de decisiones.
- Desarrollar y adoptar guías o manuales focalizados a la producción ganadera sostenible, teniendo como objetivo familiarizar a la comunidad con el cambio climático adaptándose a este en un corto plazo, con base a la planificación y ejecución de programas tales como actividades relacionadas con el pastoreo, prácticas silvopastoriles, reducción de la carga animal y otras opciones de adaptación al cambio climático.

Estrategias ambientales:

- Realizar un diagnóstico y análisis cartográfico de la biodiversidad propia de los ecosistemas que pueden ser vulnerables al cambio climático en la subcuenca del río Chicú.
- Calcular y analizar la cantidad o el potencial de carbono orgánico que poseen los diferentes ecosistemas de la subcuenca del río Chicú.
- Determinar las áreas de reserva forestal destinadas a la recuperación y la reducción del impacto asociado al cambio climático.
- Elaborar y fomentar planes de acción potencien los sumideros de carbono y su efecto sobre la biodiversidad en la subcuenca del río Chicú.
- Aplicar sistemas o técnicas de adecuación en los turnos e intensidades de aprovechamiento forestal, técnicas de resalveo y control, así como la adecuada selección de semillas en las repoblaciones dentro de la gestión forestal para la adaptación del cambio climático.
- Realizar análisis multitemporales para elaborar una comparación y consolidación de información histórica de los municipios de Tabio, Tenjo y Cota a través de la observación de los cambios asociados a las coberturas vegetales, determinando las áreas con potencial para contribuir a la captura, fijación y almacenamiento de carbono orgánico en el suelo de la subcuenca del río Chicú.

- Evaluar los impactos que tiene la reforestación sobre tierras degradadas y deforestadas, implementando como practica una agricultura de conservación del suelo, permitiendo el incremento de carbono orgánico mejorando la fertilidad de los suelos.
- Seguimiento y control de las tierras degradadas y propensas a la erosión, así como la variación del carbono en el suelo de la subcuenca del río Chicú.

10 CONCLUSIONES

Con el análisis multitemporal se busca registrar la transformación histórica presentada en las coberturas vegetales y uso del suelo, los cuales están ligados al desarrollo de las actividades económicas principales como la agricultura y la ganadería, observando que estas se han extendido sobre el territorio de la subcuenca en el periodo del año 2000 al 2020, causando una fragmentación y degradación de los ecosistemas en la subcuenca del río Chicú; lo anterior se representa en la ganancia que han obtenido las categorías de la cobertura relacionadas con los cambios relevantes como la deforestación, la degradación del suelo, el desecamiento y la urbanización.

Este documento se constituye como un recurso de actualización cartográfica dentro de los POT municipales de Tabio, Tenjo y Cota, pues a través del análisis multitemporal se obtuvieron mapas de cambios sobre las coberturas vegetales y uso del suelo en la subcuenca del río Chicú, dejando al descubierto las áreas vulnerables a la fragmentación y degradación que requieren de una intervención para garantizar la sostenibilidad de los recursos naturales; es importante realizar un control y seguimiento de la transformación paisajística y su relación con las actividades productivas para fortalecer, proteger y conservar los bienes y servicios ecosistémicos en el área de estudio. A través de las estrategias indicadas en dicho trabajo, se pueden obtener resultados positivos en cuanto al desarrollo de futuros planes de acción que favorezcan a la toma de decisiones.

Debido a la transformación y degradación de los ecosistemas en la subcuenca del río Chicú, dada principalmente por la deforestación de zonas boscosas, la urbanización desmedida y los usos del suelo para cultivo y ganadería, esto desencadena una afectación en las reservas de carbono orgánico en el suelo y en la oferta de bienes y servicios ecosistémicos, revelando un mal uso de la tierra al igual que un desinterés en la adaptación y mitigación del cambio climático, generando un impacto a futuro sobre la seguridad alimentaria de los habitantes en el área de estudio.

En un escenario futuro tendencial, si la población asentada en los municipios de Tabio, Tenjo y Cota, continúan llevando a cabo prácticas y actividades degenerativas como urbanización desmedida, agricultura y explotación ganadera tradicional, la subcuenca del río Chicú se verá expuesta a un deterioro, siendo un foco de liberación de dióxido de carbono a la atmósfera, contribuyendo a la emisión de gases efecto invernadero y el deterioro de la biodiversidad.

11 RECOMENDACIONES

Se sugiere continuar elaborando análisis multitemporales en el área de estudio, pues estos permiten conectar las diferentes actividades de subsistencia que llevan a cabo los habitantes en la jurisdicción de la subcuenca del río Chicú con los cambios en las coberturas vegetales, tales como deforestación, degradación del suelo, urbanización y desecamiento; lo anterior, le permite a las entidades competentes evidenciar y gestionar la pérdida o el deterioro de los bienes y servicios ecosistémicos en futuros escenarios. Dicho esto, es necesario que se realice un trabajo conjunto entre las entidades y los sectores clave como el agrícola, ganadero e industrial para la toma de decisiones efectivas de prevención, mitigación conservación y compensación de la biodiversidad dentro de los municipios de Tabio, Tenjo y Cota.

Considerando la susceptibilidad de los ecosistemas dentro de la subcuenca del río Chicú, se recomienda establecer acciones conjuntas entre las instituciones y los sectores agropecuario e industrial que permitan reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, por medio de la conservación del carbono orgánico en el suelo y así adaptarse al cambio climático. Adicionalmente, es importante difundir y socializar las estrategias propuestas en este trabajo pues favorecen a la determinación de los reservorios de carbono presentes en las áreas forestales ubicadas en la zona de estudio, proporcionando lineamientos que se incluyan en los planes de manejo ambiental y de desarrollo económico encaminados a la mitigación del cambio climático.

Se aconseja consolidar las habilidades y el potencial de los habitantes de la subcuenca del río Chicú en cuanto a los aspectos ambientales, laborales, culturales, económicos, políticos y sociales. De acuerdo a esto, se deben diseñar e implementar programas de educación ambiental y actividades de participación ciudadana que vayan dirigidas al aprovechamiento sostenible de los bienes y servicios ecosistémicos, al igual que concienciar a la comunidad sobre la protección de la biodiversidad y el auto abastecimiento de recursos naturales respaldando así los procesos y proyectos de seguridad alimentaria.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, este documento busca aportar medidas de mejoramiento que se adopten como instrumento de planificación en los municipios que integran la Subcuenca del río Chicú, como lo son el POT (Plan de Ordenamiento Territorial), el POMCA (Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica) y el PMA (Plan de Manejo Ambiental), teniendo como objetivo la actualización de estos y brindando apoyo en la toma de decisiones, referente los componentes político, económico, social y ambiental.

Para estudios posteriores se recomienda continuar con el desarrollo de cada estrategia planteada en el presente documento, desglosando cada una de ellas a través de programas de manejo que involucren y contemplen objetivos alcanzables a corto y largo plazo, impactos positivos y negativos que impliquen la prevención y la mitigación de las diferentes actividades a desarrollar, así como indicadores que estimen el tiempo de ejecución, realizando un seguimiento y control de las acciones aplicadas en el área de estudio. Los resultados de esta investigación proporcionan lineamientos de apoyo en las diferentes intervenciones y estudios que se planteen elaborar dentro de la jurisdicción de la subcuenca del río Chicú, a fin de mejorar la sustentabilidad ambiental, el desarrollo territorial, económico y el bienestar de la comunidad.

12 BIBLIOGRAFIA

- CAEM, C. A. (2017). *CAEM*. Obtenido de Huella de Carbono Municipal: <https://www.caem.org.co/linea-estrategica-energia-sostenible-2-2-2/huella-carbono-municipal/>
- Camara de Comercio de Bogotá. (2020). *Plan de Ordenamiento Territorial Bogotá*. Bogotá: Camara de Comercio de Bogotá.
- CAR. (2017). *Resolución 1790 de 2017 de la CAR. "Por Medio de la Cual se Determina la Zona de Protección del Río Chicú"*. Bogotá: CAR. Obtenido de <https://www.car.gov.co/uploads/files/5dd5b11cd78b8.pdf>
- Contraloría de Cundinamarca. (2019). *Informe Tenjo Sentencia Río Bogotá*. Tenjo. Obtenido de <http://www.contraloriadecundinamarca.gov.co/attachment/003%20auditorias/002%20sector%20municipal/005%20informes%20de%20auditoria/2019/INFORME%20TENJO%20SENTENCIA%20RIO%20BOGOTA.pdf>
- Corporación Autónoma Regional. (2006). *Elaboración del Diagnóstico, Prospectiva y Formulación de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá Subcuenca del río Chicú*. Ecoforest Ltda.
- Dourojeanni, A., Jouravlev, A., & Chávez, G. (2002). *Gestión del Agua a Nivel de Cuencas: Teoría y Práctica*. Santiago de Chile: CEPAL. Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/64071/S028593_es.pdf
- Duque, I. (2018). *Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 Pacto Colombia Pacto por la Equidad*. Bogotá. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/PlanNacionaldeDesarrolloPactoporlasostenibilidad.pdf>
- ESRI. (23 de Agosto de 2021). *ESRI*. Obtenido de ¿Que son los SIG?: <https://www.esri.co/es-co/nosotros/sobre-esri/que-son-los-sig>
- ESRI. (12 de Julio de 2021). *ESRI SIGSA*. Obtenido de <https://www.sigs.info/productos/envi>
- FAO. (2001). *Conflictos y Manejo de Recursos Naturales*. Roma: FAO. Obtenido de <https://www.fao.org/forestry/21575-09684b8bbf0673156ec237ead64c082b3.pdf>
- FAO. (2009). *Cambio Climático, El Impacto en la Agricultura y los Costos de Adaptación*. Washington D.C: Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias. Obtenido de https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/costo%20adaptacion.pdf
- FAO. (2015). *La FAO y los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Roma: FAO. Obtenido de <https://www.fao.org/3/i4997s/i4997s.pdf>
- FAO. (2016). *¿Que es la Agricultura de Conservación?* Roma. Obtenido de <http://www.fao.org/conservation-agriculture/overview/what-is-conservation-agriculture/en/>
- FAO. (2017). *Carbono Orgánico del Suelo el Potencial Oculto*. Roma: Alianza Mundial Por el Suelo. Obtenido de <https://www.fao.org/3/I6937Es/i6937es.pdf>

- FAO. (2017). *Conjunto de Herramientas para la Gestión Forestal Sostenible*. FAO. Obtenido de <https://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules-alternative/watershed-management/basic-knowledge/es/>
- FAO. (2017). *El IGAC y la FAO Presentan el Mapa de Carbono Orgánico del Suelo en Colombia*. Bogotá: <https://www.fao.org/colombia/noticias/detail-events/en/c/1071380/>.
- FAO. (2018). *La Contaminación de los Suelos Esta Contaminando Nuestro Futuro*. FAO. Obtenido de <https://www.fao.org/global-soil-partnership/resources/highlights/detail/es/c/1127957/>
- Gómez, J. H., & Quiroga, V. M. (2012). *sistemas de información geográfica*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander - UIS.
- González Bulla, J. (2017). *Formulación del Plan de Recuperación Socio Ambiental del río Chicú en el Municipio de Tenjo Cundinamarca*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/16432>
- González, Á. (2007). *Fundamentos de Fotointerpretación*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- IDEAM. (1996). *Caracterización de los suelos y las tierras*. Bogotá. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/005192/macizo/pdf/Capitulo4.pdf>
- IDEAM. (2005). *Metodología Corine Land Cover*. Bogotá. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corine-land-cover>
- IDEAM. (2012). *Catálogo de patrones de coberturas de la tierra Colombia*. Bogotá, IDEAM. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/153716/Catalogo+Coberturas+Tierra.pdf/f2eafe32-f300-4ae7-9ab7-f90a8670d75e>
- IDEAM. (2013). *Zonificación y Codificación de Unidades Hidrográficas e Hidrogeológicas de Colombia*. Bogotá: IDEAM. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022655/MEMORIASMAPAZONIFICACIONHIDROGRAFICA.pdf>
- IGAC. (2000). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca*. Bogotá. Obtenido de http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=6779&shelfbrowse_itemnumber=7089
- J Gonzalez, E., & Veroz, O. (2018). *Iniciativa 4 por Mil: El Carbono Orgánico del Suelo Como Herramienta de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático en España*. Madrid: Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente de España. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/publicaciones/publicaciones/4por1000_tcm30-438109.pdf
- J. Ronald, E. (2012). *Guia Para SIG y Procesamiento de Imagenes*. Argentina. Obtenido de <https://clarklabs.org/wp-content/uploads/2016/10/IDRISI-Selva-Spanish-Manual.pdf>
- Jiao, J., Zhang, Z., & Bai, W. (2010). Assessing the Ecological Success of Restoration by Afforestation on the Chinese Loess Plateau. *Restoration Ecology Vol 20 (2)*, 240-249.

- Kok, A., Lotze, W., & Van Jaarsveld, S. (2009). *Natural Resources and Social Conflict: Towards Critical Environmental Security*. Gran Bretaña: Palgrave Macmillan. Obtenido de [https://books.google.com.co/books?id=Dfty_6savZcC&pg=PA130&lpg=PA130&dq=\(Kok+%26+Lotze,+2009\)&source=bl&ots=1JRUA7ek-C&sig=ACfU3U1Dbbay8RgIWji94ZnPXdNFoypEMQ&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiUq7-9hOf0AhWCRjABHfyzAOQQ6AF6BAgkEAM#v=onepage&q=\(Kok%20%26%20Lotze%2C](https://books.google.com.co/books?id=Dfty_6savZcC&pg=PA130&lpg=PA130&dq=(Kok+%26+Lotze,+2009)&source=bl&ots=1JRUA7ek-C&sig=ACfU3U1Dbbay8RgIWji94ZnPXdNFoypEMQ&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiUq7-9hOf0AhWCRjABHfyzAOQQ6AF6BAgkEAM#v=onepage&q=(Kok%20%26%20Lotze%2C)
- Leopold, A., & Riechmann, J. (2017). *Una Ètica de La Tierra*. España: Catarata. Obtenido de https://www.catarata.org/libro/una-etica-de-la-tierra_45567/
- Leyva, P. (2001). *El Medio Ambiente en Colombia*. Bogotá: IDEAM. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000001/cap7.pdf>
- Martínez Allier, J. (2012). *Los Conflictos Ecológico-Distributivos y los Indicadores de Sustentabilidad*. Barcelona.
- Ministerio de Ambiente. (2014). *Guia Tecnica para la Formulación para los planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas Pomcas*. Bogotá. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/cuencas%20%20-hidrograficas/Guia-Tecnica-para-la-formulacion-de-planes-de-ordenacion-y-manejo-decuencas-hidrograficas-POMCAS.pdf>
- Moreno Díaz, A., & Renner, I. (2007). *Gestión Integral de Cuencas La experiencia del Proyecto Regional Cuencas Andinas*. Perú: Centro Internacional de La Papa. Obtenido de <http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/08/003654.pdf>
- Moreno Gómez, C. J. (2016). *Plan de Desarrollo Municipal 2016 – 2019 “Cota Municipio Ecoindustrial de la Sabana”*. Cota: OTÁLORA CONSULTORES S.A.S. Obtenido de <http://sabanacentrocomovamos.org/home/wp-content/uploads/2016/11/Cota.pdf>
- Naciones Unidas Colombia. (2019). *El suelo también cuenta “suelos, sostenibilidad y vida”*. Obtenido de <https://nacionesunidas.org.co/noticias/el-suelo-tambien-cuenta-suelos-sostenibilidad-y-vida/>
- Passet, R. (1996). *Principios de Bioeconomía*. Madrid: Fundación Argentaria - Visor Distribuciones. Obtenido de <https://www.marcialpons.es/libros/principios-de-bioeconomia/9788477749752/>
- Presidente de la Republica. (2012). *Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá*. Obtenido de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=49987&dt=S>
- Prieto Roza, A. (2017). *Conflictos Socioambientales En los Paramos de La Sabana de Bogotá*. Bogotá: Asociación Ambiente y Sociedad. Obtenido de https://www.ambienteysociedad.org.co/wp-content/uploads/2017/07/Publicacion_conflictos_socioambientales_paramos_Sabana_Bogota_Julio_2017.pdf
- Reyes, M., Acevedo, D. C., & Hernández, I. (2019). Influencia de la Cobertura, de Pendiente y Profundidad, Sobre el Carbono Y Nitrogeno del Suelo. *SciELO*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322019000100201

- Rodriguez Vásquez, A. F. (2011). *Metodología Para Detectar Cambios en el Uso de la Tierra Utilizando los Principios de la Clasificación Orientada Objetos, Estudio de caso piedemonte de Villavicencio, Meta*. Bogotá: Universidad Nacional del Colombia.
- Sánchez Pardo, Á., & Morte, A. R. (2012). *Aplicacion de un sistema de Iformacion Geografica en un Estudio de capacidad de Acogida del Territorio*. Alicante: Universidad de Alicante.
- Suarez Ramirez, E. F., & Acosta Rivera, K. N. (2020). *Analisis Multitemporal de la Coberuta Vegetal del Municipio de Samacá, Generado por Actividades Socioeconómicas*. Tunja: Universidad Santo Tomas.
- Velandia Iván, O. I., & Rojas Sanchez, J. (2019). *Analisis Multitemporal de la Cobertura del Bosque Humedo Tropical en la Amazonica Colombiana 2009-2018 (San Vicente del Caguan- Cartagena del Chaira, Caqueta)*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.