



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Variación de las coberturas terrestres de Antioquia (2000 – 2017) y su relación con los servicios ecosistémicos de regulación y aprovisionamiento

Kateryn Peña Mejía
Geógrafa

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Arquitectura, Escuela de Planeación Urbano Regional
Medellín, Colombia

2019

Variación de las coberturas terrestres de Antioquia (2000 – 2017) y su relación con los servicios ecosistémicos de regulación y aprovisionamiento

Kateryn Peña Mejía

Tesis o trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Estudios Urbano - Regionales

Director:

Doctor Luis Aníbal Vélez Restrepo

Línea de Investigación:

Paisaje, medio ambiente y territorio

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Arquitectura, Escuela de Estudios Urbano Regionales

Medellín, Colombia

2019

*A la fortaleza que me dieron papá y mamá
Al apoyo de mis hermanos Cristhian y Johan
Y al amor incondicional de David*

Agradecimientos

A mis padres, quienes han confiado y han creído en mí y en mis capacidades desde que tengo memoria. Gracias por entender las razones de mi partida, puesto que la tristeza con la que me despidieron, ha sido mi mayor razón para no decepcionarlos.

A mi tío José, quien ha sido para mí y para mis hermanos, un ejemplo de ética y perseverancia.

A mis hermanos Cristhian y Johan, quienes me han apoyado y retado cada día para ser mejor académicamente. Gracias por sus aportes desde la ingeniería y la filología.

A David, por ser mi compañero de vida, mi amigo y mi colega. Gracias por compartir mis sueños, con tanto amor y alegría en medio de la adversidad.

A mis dos ángeles, Adriana y Luz Marina, por todo el apoyo y cariño que me brindaron cuando más lo necesitaba.

A mis amigos de maestría Tiffany, Daniel, Katheryn y Pablo quienes, con su amistad, conocimiento, talento y paciencia, respectivamente me apoyaron de forma incondicional desde el primer semestre hasta el final. A Juan Manuel, por ser mi primer amigo lejos de casa, y brindarme su amistad y compañía incondicional.

A mi director de tesis, profesor Luis Aníbal Vélez, y a todos los profesores adscritos a la Escuela de Estudios Urbano Regionales, gracias por compartir su conocimiento y creer en mis capacidades, para sacar esta investigación adelante.

Por último, le agradezco de todo corazón, al profesor Luis Carlos Agudelo Patiño, quien se tuvo que marchar en medio de este desafío, pero antes de irse me enseñó lo más importante de esta experiencia, a “creer en mí”.

Resumen

Los servicios ecosistémicos son un elemento fundamental del desarrollo sostenible, ya que de ellos dependen los bienes y servicios con los cuales subsiste la humanidad. Su cuidado y preservación son la base para el desarrollo de las actividades poblacionales. Así mismo un correcto ejercicio de planificación regional y territorial, depende de una caracterización de escenarios pasados, presentes y futuros, que den cuenta de la ubicación y producción de los servicios ecosistémicos necesarios para determinado territorio.

El presente estudio analiza la relación de la variación de la cobertura terrestre con los servicios ecosistémicos de regulación y aprovisionamiento. Para ello se usó la cartografía de la cobertura terrestre del año 2000 y 2017, y posteriormente se cuantificó la producción de los servicios ecosistémicos de regulación y aprovisionamiento, acorde a la clasificación de las coberturas terrestres, según la metodología de adaptación Corine Land Cover Colombia 2010; de esta forma se llegó al aumento o pérdida de los servicios ecosistémicos de regulación y aprovisionamiento para el departamento de Antioquia.

Palabras clave: Servicios ecosistémicos, coberturas terrestres, desarrollo sostenible.

Abstract

Ecosystem services are the fundamental element of sustainable development, since many goods and services by which humanity subsists, depends on them. Its care and preservation are the basis for the development of the populations' activities. Likewise, the proper regional and territorial planning depends on a characterization of past, present and, future scenarios, which provides an account of the location and production of the ecosystem services, needed for a specific territory.

The current research analyses the relationship between the variation of land cover and the ecosystem services of regulation and provisioning. For this, it was used the land cover mapping of the years 2000 and 2017. Subsequently, the ecosystem services of regulation and provisioning were quantified, according to the adaptation methodology Corine Line Cover Colombia 2010. This led to the finding of the increase and loss of the ecosystem services of regulation and provisioning for the Antioquia department.

Keywords: Ecosystem services, land cover, sustainable development.

Contenido

	Pág.
Resumen.....	VII
Lista de figuras	X
Lista de tablas	XI
Introducción	13
1. Marco conceptual.....	17
1.1 Servicios ecosistémicos	17
1.2 Coberturas terrestres	26
1.3 Los servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial y en la gestión ambiental de Antioquia	35
2. Metodología	44
2.1 Características físico – bióticas de Antioquia	44
2.2 Análisis de los cambios de las coberturas terrestres	57
2.3 Identificación de los servicios ecosistémicos por tipo de cobertura terrestre.....	65
2.4 Análisis de la relación del cambio de cobertura terrestre y variación del servicio ecosistémico producido	67
3. Resultados.....	73
3.1 Cambio de la cobertura terrestre del departamento de Antioquia (2000 – 2017).....	73
3.2 Relación del cambio de coberturas terrestres con los servicios ecosistémicos de regulación	80
3.3 Relación del cambio de coberturas terrestres con los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento	89
4. Discusión	97
5. Conclusiones y recomendaciones.....	102
6. Bibliografía	104

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Clasificación de los servicios ecosistémicos según los EM.....	19
Figura 2. Objetivos de Desarrollo del Milenio – ODM (2000 – 2015).....	33
Figura 3. Objetivos de Desarrollo Sostenible – ODS (2015 – 2030).....	35
Figura 4. Mapa características físico – bióticas del departamento de Antioquia.....	54
Figura 5. Mapa división político – administrativa del departamento de Antioquia.....	56
Figura 6. Mapa coberturas terrestres del departamento de Antioquia 2000 – 2002, nivel 3 metodología CLCC 2010	59
Figura 7. Mapa coberturas terrestres del departamento de Antioquia 2016 – 2017, nivel 3 metodología CLCC 2010	62
Figura 8. Mapa permanencia de la cobertura terrestre de Antioquia 2000 – 2017.	77
Figura 9. Mapa variación de la cobertura terrestre del departamento de Antioquia 2000 – 2017	79
Figura 10. Disminución de SE asociada a coberturas terrestres en el departamento de Antioquia	96

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Leyenda nacional de coberturas terrestres según metodología CLCC 2010, tercer nivel de detalle	28
Tabla 2. Zonas de vida existentes en el departamento de Antioquia.....	51
Tabla 3. Porcentajes de coberturas terrestres del departamento de Antioquia con niveles de clasificación Corine Land Cover Colombia en los niveles I y II.....	52
Tabla 4. Propiedades espaciales generales de las capas para el procesamiento digital .	57
Tabla 5. Área total de la cobertura terrestre del departamento de Antioquia 2000 – 2002, nivel 3 metodología CLCC 2010.....	60
Tabla 6. Área total de la cobertura terrestre del departamento de Antioquia 2016 – 2017, nivel 3 metodología CLCC 2010.....	63
Tabla 7. Clasificación y definición de los servicios ecosistémicos para la investigación ..	65
Tabla 8. Identificación de los servicios ecosistémicos de regulación y aprovisionamiento con las coberturas terrestres más representativas del departamento de Antioquia.	66
Tabla 9. Variación en hectáreas de la cobertura terrestre de Antioquia del año 2000 al 2017	74
Tabla 10. Coberturas terrestres superiores a 40.000 hectáreas que se mantuvieron durante el periodo 2000 - 2017.....	76
Tabla 11. Coberturas que presentaron cambios superiores a 40.000 hectáreas del año 2000 al 2017	78
Tabla 12. Escorrentía superficial en mm/ha, en 6 tipos de cobertura diferentes.....	80
Tabla 13. Infiltración del horizonte orgánico en mm/ha, en 5 tipos de cobertura diferentes.	81

Tabla 14. Infiltración superficial en mm/ha, en 6 tipos de cobertura diferentes.....	82
Tabla 15. Agua de drenaje profundo en mm/ha, en 6 tipos de cobertura diferentes.	82
Tabla 16. Diferencia de la captura de CO2 y biomasa aérea en toneladas del año 2000 al 2017.....	83
Tabla 17 Diferencia de la captura de CO2 y biomasa aérea en toneladas del año 2000 al 2017, para bosques naturales en las zonas de vida de Holdridge	86
Tabla 18. Diferencia de la producción de alimento en toneladas del 2000 al 2017 en relación con el CLCC 2010 nivel 3.....	89
Tabla 19. Diferencia de la tenencia de ganado por No. de reces del 2000 al 2017 en relación con el CLCC 2010 nivel 3.....	91
Tabla 20. Diferencia de la producción en toneladas de cuatro tipos de plantación forestal en relación a la cobertura terrestre correspondiente del CLCC 2010 nivel 3.....	92
Tabla 21. Disminución de SE asociados a hectáreas de cobertura terrestre.....	94

Introducción

En materia de planificación, la identificación espacial de la producción de servicios ecosistémicos permiten determinar los usos del suelo, los cuales son el soporte económico poblacional, y de ser ubicados correctamente aportan de forma sustancial al desarrollo sostenible de cualquier país. Los servicios ecosistémicos en la actualidad, son el elemento fundamental del desarrollo sostenible; ya que de ellos dependen los bienes y servicios con los cuales subsiste la humanidad, por consiguiente su cuidado y preservación son la base para el desarrollo de las actividades poblacionales (Sachs, 2014).

Colombia ha dado paso al desarrollo sostenible en su territorio, pese a las problemáticas constantes en torno a los cambios acelerados que presentan sus cubiertas terrestres (Sanchez G. , 2002). Desde el año 2000 Colombia es catalogada según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – UNEP, como el segundo país con mayor biodiversidad del mundo, gracias a su número total de especies, el grado de endemismo que estas presentan y el alto nivel taxonómico que poseen (Williams, 2001). La megadiversidad como la define la UNEP que posee Colombia, se debe a sus características geográficas, geológicas, geomorfológicas, climáticas e hidrológicas que en conjunto permiten el sustento de los ecosistemas de toda la biodiversidad que posee. Es por esto, que los cambios acelerados que sufre su cobertura terrestre, amenazan de forma dramática su capacidad de producción de servicios ecosistémicos y toda la vida que se beneficia de estos.

El objetivo de la presente investigación es analizar los cambios de la cobertura terrestre del departamento de Antioquia entre los años 2000 y 2017, y su

efecto sobre los servicios ecosistémicos de regulación y aprovisionamiento. Para cumplir con este objetivo en primer lugar, se relacionan los cambios de la cobertura terrestre con la pérdida de servicios ecosistémicos de regulación y aprovisionamiento. En segundo lugar, se identifican los servicios ecosistémicos de regulación y aprovisionamiento que experimentaron mayor disminución asociada al cambio de la cobertura terrestre, y por último se localizan los territorios más afectados por la disminución de servicios ecosistémicos de regulación y aprovisionamiento, bajo el criterio del cambio de la cobertura terrestre en el periodo de tiempo ya mencionado.

La ubicación de la producción de servicios ecosistémicos, se realiza por medio de la relación de cada servicio ecosistémico con una o varias coberturas terrestres, de este modo al calcular la variación de la cobertura terrestre de un año a otro, es posible identificar el aumento o la disminución del servicio ecosistémico de regulación o aprovisionamiento asociado previamente a cada cobertura terrestre. Esta relación tiene la capacidad de determinar tasas de deforestación, pérdida de biomasa anual y tasa de captación de CO₂, así mismo está en capacidad de identificar cualquier aumento o pérdida de servicios ecosistémicos, siempre y cuando hayan sido previamente relacionados a una cobertura terrestre.

A medida que se baja la escala de análisis, se evidencia qué para el departamento de Antioquia, la relación de la cobertura con los servicios ecosistémicos, focaliza las tensiones que se presentan en el ordenamiento territorial, y se torna necesario no solo la relación sino también la cuantificación, tanto de los servicios ecosistémicos como de las coberturas terrestres. La relación y la cuantificación desde un análisis multi-temporal, permite la evidencia de la pérdida o ganancia de los servicios ecosistémicos en determinados lugares del departamento de Antioquia, dejando como insumo para la planificación territorial un diagnóstico pasado y presente que aporte en la mitigación de problemáticas futuras del territorio.

El presente trabajo relaciona la variación de la cobertura terrestre, con la pérdida o conservación de los servicios ecosistémicos de regulación y aprovisionamiento; los servicios ecosistémicos de soporte y culturales no son menos importantes, pero no serán tomados en cuenta. En este sentido, el capítulo I realiza una precisión conceptual de la clasificación de los servicios ecosistémicos, y la importancia que cada tipo de servicio posee; además enmarca las coberturas terrestres de Colombia, mediante la metodología de clasificación Corine Land Cover adaptada para Colombia en el año 2010. Por último, se menciona el abordaje de los servicios ecosistémicos a nivel mundial y el papel que estos han jugado en el ordenamiento territorial y la gestión ambiental del departamento de Antioquia, desde el año 2000 al 2017.

En el capítulo II, se realiza la caracterización biofísica del departamento de Antioquia, que posteriormente es analizada con las coberturas terrestres de los años 2000 y 2017. Luego se identifican los servicios ecosistémicos asociados a cada cobertura terrestre y mediante la multiplicación de las hectáreas de la cobertura con la producción de los servicios ecosistémicos identificados por hectárea, se logra la asociación que genera el análisis de la variación de la cobertura terrestre del departamento de Antioquia y su relación con el aumento o disminución del servicio ecosistémico asociado.

Los resultados que se muestran en el capítulo III, indican en primera instancia, la intersección de las coberturas terrestres del año 2000 y 2017. Esto genera la ubicación de cada uno de los cambios de cobertura terrestre que se dieron en el departamento de Antioquia; lo anterior identifica, mediante una serie de tablas y mapas, la relación y producción de los servicios ecosistémicos de regulación (agua, biomasa aérea y captación de CO₂) y aprovisionamiento (alimento y madera), con las coberturas terrestres de ambos años.

La discusión presentada en el capítulo IV, se presenta en torno a tres niveles de análisis. En el primero, se discuten las pérdidas del total de los servicios ecosistémicos del departamento de Antioquia, luego se analiza el papel del estado y las instituciones públicas frente a estas pérdidas, y las dinámicas aceleradas de cambio de cobertura terrestre. El segundo nivel analiza las ventajas y desventajas que presenta el método aplicado, y la función de la escala en la cuantificación de los servicios ecosistémicos en relación con la variación de la cobertura terrestre. El último nivel se enfoca en las preguntas que surgen a partir de la aplicación del método y la necesidad de replicar este tipo de investigación a nivel nacional, departamental y municipal.

El capítulo V, presenta las conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación, las cuales se orientan a la aplicación futura de los resultados como insumo para la planeación y el ordenamiento territorial.

La presente investigación se fundamenta desde luego, en una revisión bibliográfica que comprende la temática de los servicios ecosistémicos y la conceptualización y clasificación de la cobertura terrestre, además la complementan referencias enfocadas al análisis de la cartografía multi-temporal; dichas referencias se aprecian citadas a lo largo de toda la investigación con sus referentes completos al final del presente trabajo.

1. Marco conceptual

1.1 Servicios ecosistémicos

En el año 2000 la secretaría general de las Naciones Unidas convoca a todas sus naciones aliadas para realizar la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio - EM, la cual tiene por objeto “evaluar las consecuencias de los cambios en los ecosistemas para el bienestar humano y las bases científicas para las acciones necesarias, que contribuyan a mejorar la conservación y el uso sostenible de los mismos, así como su contribución al bienestar humano” (DELMILENIO, 2018). A partir de la EM todas las naciones interesadas por la sostenibilidad y la regulación de los servicios ecosistémicos (o SE como se nombrará en el desarrollo de la presente investigación), inician una apropiación del concepto de SE la cual se materializa en la toma de decisiones institucionales en pro de la biodiversidad y del bienestar de su población.

Según la EM, los servicios ecosistémicos son “los beneficios directos e indirectos que la humanidad recibe de la biodiversidad” (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), esta definición consolida todas las concepciones que se recopilaron desde los movimientos ambientalistas de los años 60, en donde se agudiza la crisis ambiental y se inician los cuestionamientos respecto a los impactos severos en la capacidad del planeta, para auto-regularse y producir la cantidad de bienes necesarios en el sostenimiento de la población humana (Balvanera & Helena, 2007), hasta la EM realizada en el nuevo milenio.

Debido a que la presente investigación se enmarca en un contexto nacional, se toma en cuenta la definición de servicios ecosistémicos desde la institucionalidad, la cual indica que los servicios ecosistémicos son “Todas aquellas contribuciones directas e indirectas que hacen los ecosistemas al bienestar humano, esto se ve representado en elementos o funciones derivadas de los ecosistemas que son percibidos, capitalizados y disfrutados por el ser humano como beneficios que incrementan su calidad de vida”. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Instituto de Investigación y Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2017, pág. 4).

Siguiente a la consolidación de las definiciones en la EM, se logra una clasificación de los servicios ecosistémicos, aunque en los años 90, diferentes autores clasifican los servicios ecosistémicos, varios de ellos se limitan a crear listados de los mismos, y otros en cambio proponen un modelo de clasificación basado específicamente en la funcionalidad de los SE; lo último generó aún más confusiones en el proceso de clasificación (Camacho & Ruiz, 2012). La clasificación de los SE de la EM es probablemente la más acertada en la actualidad, ya que su sistema de clasificación se basa en cuatro líneas fundamentales que son: soporte, regulación, aprovisionamiento y culturales. Estas líneas cubren todos los servicios ecosistémicos de cualquier país o región, sin limitar su clima, tipos de producción, calidad del suelo o su cultura.

En la **Figura 1** se observa la clasificación de los servicios ecosistémicos, con la síntesis de sus respectivos significados y algunos ejemplos del mismo, vale la pena resaltar que la clasificación que se hace a continuación se realiza con base en la información disponible de la EM, esto no significa que sea la única clasificación, simplemente es la más adecuada para el objeto de la presente investigación.

- 1. Soporte:** Se refiere a los procesos ecológicos necesarios para la provisión y existencia de los demás servicios ecosistémicos, tales como la producción primaria, la formación del suelo y el ciclado de nutrientes.

2. **Aprovisionamiento:** Bienes y productos brindados por los ecosistemas tales como los alimentos, el agua, los recursos genéticos y los productos forestales.
3. **Regulación:** Son los beneficios obtenidos de la regulación de los procesos ecosistémicos que inciden en el clima, las inundaciones, la calidad del agua y los ciclos biológicos y biogeoquímicos.
4. **Culturales:** Son los bienes no materiales obtenidos de los ecosistemas como el enriquecimiento espiritual, el desarrollo cognitivo, la reflexión, la recreación y las experiencias estéticas



Figura 1. Clasificación de los servicios ecosistémicos según los EM

Fuente: Elaboración propia basada en la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2000

Los primeros aportes importantes de los SE, se dieron a finales de la década de los 90, en sintonía con la firma del Tratado de Kioto en 1997, el cual “es un protocolo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, y un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global: dióxido de carbono (CO₂), gas metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), y los otros tres son gases industriales fluorados: hidrofluorocarburos (HFC), perfluorocarbonos(PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆). Se busca una disminución en un porcentaje cercano al 5 %, dentro del periodo que va de 2008 a 2012, en comparación a las emisiones a 1990” (Escusa, 2016). Aunque este tratado es muy específico en tanto a la reducción de emisiones, para llegar al consolidado en la convención se analizaron los efectos que estas emisiones causan a la capa de ozono, a los ecosistemas terrestres y a todos los seres vivos que habitan el planeta; al analizar los efectos en los ecosistemas terrestres, se habla directamente de la disminución en la producción de todos los SE.

En 1997 paralelo a la firma del Tratado de Kioto, textos como *Nature's Services*, escrito por Gretchen C. Daily, el cual en su introducción titulada “*What Are Ecosystem Services*”, señala una línea de pensamiento según la cual el soporte de la humanidad se encuentra en la naturaleza, en los bienes y servicios de los ecosistemas; para sustentar esto el texto hace fuertes cuestionamientos cómo, ¿Qué pasaría si los seres humanos viviéramos en la luna? si esto pasara, ¿Cuántos bienes y servicios necesitaríamos?, esto lleva a pensar que en muchas ocasiones se obvian servicios que provienen de la naturaleza, y no se toman en cuenta por estar en un contexto urbano (Daily, 1997). Lo anterior agudiza el debate previo al discurso presentado por Al Gore sobre el cambio climático en la década del 2000 titulado “Una verdad incómoda”, en donde se evidencia el grave estado del planeta desde el análisis del cambio climático y el estado de la atmosfera del

planeta tierra, lo cual corresponde con los SE de soporte, que son la base de todos los SE que se producen en el planeta y sostienen a la humanidad.

Posterior a todo el debate del cambio climático, como ya se había mencionado surge la EM la cual, gracias a su difusión a nivel mundial logra diferentes aplicaciones del manejo de los SE. Algunos ejemplos de estas aplicaciones son:

- Hidrología
- Agricultura
- Ecología
- Medio Ambiente
- Desarrollo
- Valoración económica
- Ecología política
- Ecología cultural
- Herramientas para la toma de decisiones

Una de las aplicaciones más recurrentes a nivel mundial, es la valoración económica. La adopción del término por parte de la economía promovió su uso en la investigación científica, pero en general lo limitó al valor del dinero. Esto trajo consigo la justificación de varios procesos de deterioro terrestre, respaldados en un tipo de equivalencia económica logran justificar el decrecimiento de los servicios ecosistémicos (Rodríguez, 2015). Por lo anterior en la presente investigación no se abordan los servicios ecosistémicos desde la economía, ya que independientemente de su valor económico, prevalece la importancia del aumento o disminución de la producción de los SE en pro de un sano funcionamiento territorial.

Con el fin de precisar los servicios ecosistémicos de regulación y aprovisionamiento que se abordan en la presente investigación, en los numerales 1.1.1 y 1.1.2 se dan una serie de definiciones que en el transcurso de la

investigación toman relevancia para el desarrollo de la metodología y la interpretación de los resultados.

1.1.1 Servicios ecosistémicos de regulación

1. Agua

Colombia es un país que se caracteriza por su cantidad anual de precipitaciones, esto es solo una de las características que lo han calificado a nivel internacional como el cuarto país con mayor disponibilidad hídrica (Dominguez, Rivera, & Vanegas, 2008). Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM el crecimiento actual de la población colombiana ha generado una gran demanda hídrica en regiones donde su oferta es escasa, esto ha generado problemas para mantener la estructura socio-económica instalada de dichas poblaciones. Por lo anterior el IDEAM tomo la iniciativa para realizar los seguimientos adecuados a este problema a través del Estudio Nacional de Agua - ENA el cual se elabora por primera vez en 1998 y se actualiza cada 4 años (IDEAM, 1998).

“La hidrología es la ciencia que estudia el agua en la Tierra: su ocurrencia, circulación y distribución, sus propiedades físicas y químicas y su relación con el medio ambiente incluidos los seres vivos” (Muñoz & Ritter, 2005). Para analizar el servicio ecosistémico de regulación hídrica en el departamento de Antioquia, se toman cuatro conceptos fundamentales desde la hidrología, los conceptos son:

- **Escorrentía superficial:** “Es la parte de la precipitación que se dirige en forma de flujo superficial pendiente abajo en un terreno, normalmente hacia cuerpos de agua (canales, ríos, lagos u océanos). Está alimentada por el agua disponible en superficie durante una tormenta es decir por el exceso de precipitación” (Muñoz & Ritter, 2005).

- **Infiltración del horizonte orgánico:** “Es el agua que atraviesa el mantillo o capa de restos orgánicos en diferente grado de descomposición, depositados sobre la superficie del terreno, con una profusa invasión o presencia de raíces a su interior. Se presenta en las coberturas de bosque secundario, rastrojo y pastos” (CORANTIOQUIA, 2012).
- **Infiltración superficial:** “Es el proceso de entrada superficial del agua en el suelo. Durante una tormenta la relación que hay entre el ritmo de aporte de agua a la superficie del suelo y el de la infiltración determina qué proporción de agua entra en el suelo, y cuál queda en la superficie disponible para la escorrentía superficial” (Muñoz & Ritter, 2005). “El agua que refleja el proceso de infiltración superficial ya en el suelo mineral, se verifica principalmente en el primer horizonte genético, que subyace al horizonte orgánico hasta una profundidad de -30 a -40 cm. Se presenta en todas las coberturas” (CORANTIOQUIA, 2012).
- **Agua de drenaje profundo:** “Se define como las pérdidas que por percolación profunda se verifican al no poder ser las aguas gravitacionales y contenidos elementales, capturados por las raíces de las plantas, y que por su profundidad además se estima pasan a alimentar las aguas del nivel freático. Se localiza a una profundidad del horizonte orgánico de -80 cm” (CORANTIOQUIA, 2012).

2. Captación de CO₂

Es el proceso de la fotosíntesis mediante el cual los vegetales verdes, las algas y algunos tipos de bacterias tiene la capacidad de transformar el

carbono en forma de CO₂, en moléculas orgánicas y tejido vivo. (Smith & Smith, 2007).

“La fotosíntesis es el proceso mediante el cual la energía procedente del sol, en forma de radiación de onda corta, es aprovechada para producir una serie de reacciones químicas que resultan en la fijación de CO₂ en los carbohidratos (monosacáridos) y en la liberación de oxígeno (O₂) como subproducto” (Smith & Smith, 2007). La reacción química de la fotosíntesis y todos los elementos y compuestos que esta involucra, se ven reflejados en los ciclos biogeoquímicos, estos ciclos comprenden los procesos de circulación de compuestos químicos entre los componentes bióticos y abióticos de un ecosistema (Schlessinger & Bernhardt, 2013).

Los elementos que participan en los ciclos biogeoquímicos pueden ser obtenidos a través de su fuente mineral o atmosférica, o pueden ser recuperados de sus formas orgánicas, por medio de la transformación de sus formas iónicas (Berhe, Harden, Harte, & Torn, 2005).

“Basados en las observaciones de la actual dinámica de los ecosistemas naturales y artificiales de pradera y de cultivos limpios, se argumenta que el cambio ambiental en los últimos tiempos, incluyendo el aumento de las concentraciones de CO₂, las elevadas temperaturas y las precipitaciones, posiblemente han provocado una transición en el ciclo de nutrientes de un modo acelerando, a un modo en desaceleración en América” (CORANTIOQUIA, 2012).

3. Biomasa aérea

“La biomasa, se define como la cantidad total de materia orgánica viva sobre la superficie terrestre expresada en toneladas de materia seca al horno por

unidad de área” (Brown, 1997). La biomasa se clasifica en natural, residual, cultivos energéticos y primaria; la biomasa natural es la producida en los ecosistemas naturales como bosques y diferentes tipos de vegetación, dentro de esta se encuentra la biomasa aérea” (Castells, 2005).

La biomasa aérea es la materia orgánica viva que poseen las plantas vasculares mayores, estas se dividen en biomasa aérea (tallos, ramas, hojas, flores y frutos) y biomasa subterránea (raíces) (Schlegel, 2001). Aunque la biomasa aérea es muy importante para usos comerciales (por ejemplo leña y fibras), son igualmente fundamentales para los estudios de productividad ecosistémica, flujos de energía, nutrientes, contribución de los cambios de las coberturas forestales y los beneficios que esto trae al ciclo global del carbono (Parresol, 1999).

1.1.2 Servicios ecosistémicos de aprovisionamiento

1. Alimento

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación – FAO y la Organización Mundial de la Salud - OMS, en su manual de procedimiento para la comisión del *Codex Alimentarius*, define al alimento como “ toda sustancia, elaborada, semielaborada o bruta, que se destina al consumo humano, incluidas las bebidas, el chicle y cualquier otra sustancias que se utilice en la fabricación, preparación o tratamiento de los alimentos, pero no incluye los cosméticos ni el tabaco ni las sustancias utilizadas solamente como medicamentos” (FAO & OMS, 2013)

2. Madera

“La madera es un material biológico de origen vegetal. Forma parte del tronco de los árboles y su función es transportar agua y sustancias nutritivas del suelo hacia las hojas, da soporte a las ramas que forman la copa y fija

las sustancias de reserva almacenando los productos transformados en las hojas” (Aguilar & Guzowski, 2011).

La anterior definición se basa en la composición biológica de la madera, pero para una mejor comprensión desde la definición de servicio ecosistémico de aprovisionamiento se puede decir que “se entiende por madera como las partes de un árbol que económicamente pueden aprovecharse, siendo éstas por lo general troncos y en un mayor alcance ramas y raíces. La madera de los troncos se puede utilizar de múltiples maneras: como láminas, chapas finas, triturada en tableros y como macizo para obras de construcción y carpintería. Además, se beneficia de ella la industria química para la obtención, sobre todo, de celulosa, nitrocelulosa, aceites y ácidos” (Aguilar & Guzowski, 2011).

1.2 Coberturas terrestres

El hombre, al igual que todos los seres vivos, a través del tiempo se ha adaptado a diversos espacios, transformándolos acorde a sus necesidades; esta transformación ayudó a que el hombre se estableciera en lugares determinados, logrando así grandes concentraciones poblacionales, que paralelamente a su crecimiento consumen los recursos del medio que los rodea (agua, flora y fauna) (Sanchez, Yanine, Mantilla, Toro, & Barbosa, 2001). Por lo anterior, las transformaciones del medio natural fueron inevitables, esto trajo consigo, la sustitución de la vegetación natural por el establecimiento de tierras agrícolas o de pastoreo, la tala de bosque natural por plantaciones forestales de determinadas especies, el llenado de humedales para la construcción de tejido urbano continuo, etc. Dichos reemplazos en la actualidad poseen características irreversibles, que ponen en riesgo el bienestar humano, afectando directamente el abastecimiento de SE (Sanchez, Yanine, Mantilla, Toro, & Barbosa, 2001).

La ocupación o cobertura terrestre¹ se define como “la categorización física, química, ecológica o biológica de la superficie terrestre, que da lugar a unidades superficiales específicas (agua, pasto, bosque, cemento, asfalto, etc.); por otro lado, los usos del suelo² equivalen a las actividades que desarrollan los seres humanos de forma individual o colectiva, con la intención de obtener productos o beneficios a partir de los diferentes recursos” (Murray, 2005). La presente investigación busca relacionar la variación de la cobertura terrestre del departamento de Antioquia, con los servicios ecosistémicos de regulación y aprovisionamiento; por lo tanto, el concepto de usos del suelo no será tomado en cuenta.

1.2.1 Clasificación de las coberturas terrestres en Colombia

En 1996 el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM realizó el *primer Mapa de cambios de coberturas vegetales usos y ocupación del espacio colombiano*, logrando así impulsar el estudio y análisis del cambio multi-temporal de las coberturas terrestres para todo Colombia (IDEAM, 1996).

Para facilitar el análisis de los cambios de cobertura terrestre en los años noventa la Comisión de la Comunidad Europea, promovió el programa *Coordination of Information on the Environment –CORINE*, el cual tuvo por objeto definir una metodología específica para clasificar la cobertura terrestre, dicho resultado se nombró “*CORINE Land Cover*” 1990 – CLC 1990 (European Commission, 2002).

En Colombia durante en el año 2005, se realizó la primera adaptación metodológica del CLC 1990, con el fin de fortalecer la capacidad nacional en la

¹ Este término en inglés es conocido como *land cover*

² Este término en inglés es conocido como *land use*

identificación de las transformaciones de la cobertura terrestre para ser tenidas en cuenta como parte de la planificación, la gestión y el ordenamiento territorial (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2014).

En el año 2010 se evalúa de nuevo la metodología CLC para Colombia y gracias a la obtención de imágenes *Lansat TM* por parte del estado, se consolida la *LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA Metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia Escala 1:100.000 - CLCC 2010* (IDEAM, 2010), “la cual permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura terrestre, para la construcción de mapas a diferentes escalas” (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2014).

En la **Tabla 1** se consolida la clasificación básica de la metodología CLCC 2010, esta posee 5 grupos principales que se subdividen en categorías de hasta 6 niveles, para esta investigación y debido a la disponibilidad de la información se toman en cuenta los cambios con base únicamente en el tercer nivel de clasificación.

Tabla 1. Leyenda nacional de coberturas terrestres según metodología CLCC 2010, tercer nivel de detalle

NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	1.1 Zonas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo
		1.1.2 Tejido urbano discontinuo
	1.2 Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.1 Zonas industriales o comerciales
		1.2.2 Red vial, ferroviaria y terrenos asociados
		1.2.3 Zonas portuarias
		1.2.4 Aeropuertos
		1.2.5 Obras hidráulicas
	1.3 Zonas de extracción minera	1.3.1 Zonas de extracción minera
		1.3.2 Zonas de disposición de residuos
	1.4 Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	1.4.1 Zonas verdes urbanas
1.4.2 Instalaciones recreativas		
2. TERRITORIOS AGRÍCOLOS	2.1. Cultivos transitorios	2.1.1. Otros cultivos transitorios
		2.1.2. Cereales

		2.1.3. Oleaginosas y leguminosas
		2.1.4. Hortalizas
		2.1.5. Tubérculos
	2.2. Cultivos permanentes	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos
		2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos
		2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos
		2.2.4. Cultivos agroforestales
		2.2.5. Cultivos confinados
	2.3. Pastos	2.3.1. Pastos limpios
		2.3.2. Pastos arbolados
		2.3.3. Pastos enmalezados
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.1. Mosaico de cultivos
		2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos
		2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
		2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales
		2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales
3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque denso
		3.1.2. Bosque abierto
		3.1.3. Bosque fragmentado
		3.1.4. Bosque de galería y ripario
		3.1.5. Plantación forestal
	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2.1. Herbazal
		3.2.2. Arbustal
		3.2.3. Vegetación secundaria o en transición
	3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	3.3.1. Zonas arenosas naturales
		3.3.2. Afloramientos rocosos
		3.3.3. Tierras desnudas y degradadas
		3.3.4. Zonas quemadas
3.3.5. Zonas glaciares y nivales		
4. AREAS HÚMEDAS	4.1. Áreas húmedas continentales	4.1.1. Zonas Pantanosas
		4.1.2. Turberas
		4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
	4.2. Áreas húmedas costeras	4.2.1. Pantanos costeros
		4.2.2. Salitral
		4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar
5. SUPERFICIES DE AGUA	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos (50 m)
		5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales
		5.1.3. Canales
		5.1.4. Cuerpos de agua artificiales

	5.2. Aguas marítimas	5.2.1. Lagunas costeras
		5.2.2. Mares y océanos
		5.2.3. Estanques para acuicultura marina

Fuente: Elaboración propia a partir de (IDEAM, 2010)

Actualmente el Sistema de Información Ambiental de Colombia – SIAC, por medio de su portal web, dispone públicamente los mapas de coberturas terrestres disponibles para Colombia en los periodos de 2000-2002, 2005-2009, 2010-2012, las cuales desde el año 2017 cumplen la estandarización metodología CLCC 2010. Adicionalmente el CLCC 2010, trajo consigo una serie de actualización de coberturas terrestres a nivel regional y departamental a diferentes escalas, las cuales actualmente complementan los estudios e investigaciones en torno al cambio de cobertura y las actividades poblacionales. Por lo tanto, para esta investigación se toma en cuenta, en primer lugar, el periodo más antiguo 2000-2002 a escala 1:100.000 y en segundo lugar la cobertura para el departamento de Antioquia para el periodo 2016-2017 a escala 1:100.000, la cual fue obtenida gracias a la colaboración de la gobernación de Antioquia, mediante el radicado 2018010246421 del 26 de junio de 2018, en nombre de la Universidad Nacional de Colombia – sede Medellín con fines estrictamente académicos.

1.2.2 Relación de las coberturas terrestres con los servicios ecosistémicos

A partir de la EM la forma de concebir los ecosistemas en conjunto con el bienestar humano se transformó, dando paso al estudio propiamente de los SE. Esto logró ampliar la mirada de la sociedad hacia la biodiversidad, ubicándola como contenedora de una gran variedad de procesos que determinan la vida misma del planeta y los seres que la habitan (Franco, 2010), de esta manera para dar avance en la evaluación de SE, como lo propone la EM es necesario “generar mapas que reflejen los lugares productores de servicios ecosistémicos y de este modo,

cuantificar la probabilidad de conversión de uso de la tierra y su probable impacto en la prestación de servicios” (Vásquez & Matallana, 2016).

En la práctica, varias instituciones gubernamentales como el Ministerio de Medio ambiente y Desarrollo Sostenible, el Instituto Humboldt, Parques Nacionales Naturales – PNN, entre otras, amparadas en la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos – PNNGIBSE, han avanzado en investigaciones basadas en el relacionamiento de la cobertura terrestre con los servicios ecosistémicos; un ejemplo de ello es el esfuerzo que se ha hecho en la identificación de ecosistemas críticos, en determinados lugares de Colombia, los cuales posteriormente han sido categorizados como Reservas Naturales de la Sociedad Civil y están amparadas en la Ley 99 de 1993 (MinAmbente, 2016) .

El relacionamiento de los SE con las coberturas terrestres, se ha analizado bajo dos métodos: El primer método hace un relacionamiento directo de la cobertura terrestre con la capacidad que este tiene para producir uno o varios SE, este método se caracteriza por la valoración económica de los SE y va más allá de suplir las necesidades básicas de una población, o de pensar en pro de la sostenibilidad ambiental o la regulación ecosistémica. (Swetnam, y otros, 2010).

El segundo es el método GIS³ para el modelamiento de servicios ecosistémicos. Estos modelos buscan la construcción de escenarios futuros para los SE de interés, luego se determinan los cambios temporales que puede tener la cobertura terrestre y estas dos variables sumadas a los tipos de suelo, determinan los lugares potenciales para producir ciertos servicios ecosistémicos (Swetnam, y otros, 2010).

³ Geographyc Information System

El primer método ha tenido menos aplicaciones, debido a sus limitaciones de análisis, esto se debe a que su producto final es una matriz de identificación de SE en relación con la cobertura terrestre. Un ejemplo de este es uno de los documentos de trabajo publicado por el Instituto Humboldt, titulado *Identificación de los servicios ecosistémicos que proveen las diferentes áreas protegidas en la Orinoquia Colombiana* (Vásquez & Matallana, 2016), en este artículo se desarrolla una matriz de cambio por cada área protegida analizada y, mediante un sistema binario en donde 1 equivale a la existencia del SE y 0 a que el SE no existe, relaciona la cobertura terrestre, clasificada previamente bajo la metodología CLCC 2010, con los servicios ecosistémicos de soporte, aprovisionamiento y culturales.

En Colombia el segundo método mencionado presenta mayores investigaciones y aplicaciones desde las ciencias económicas, agrícolas, ambientales y forestales a través de modelaciones dinámicas de oferta y demanda de bienes y SE, en relación con el cambio de uso del suelo (Gómez & Beltrán, 2018).

1.2.3 Las coberturas terrestres y los servicios ecosistémicos en los Objetivos de Desarrollo del Milenio - ODM

En el año 2000, 189 países miembros de la Organización de las Naciones Unidas – ONU, se unieron para alcanzar, en un periodo de 15 años, los ODM. En la **Figura 2** se observan los 8 ODM propuestos por la ONU (PENUD, 2015).



Figura 2. Objetivos de Desarrollo del Milenio – ODM (2000 – 2015)
Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD (2001)

El plazo para el desarrollo de los ODM se venció en el año 2015, dejando un avance significativo en la mayoría de indicadores que comprenden el ODM 7, el cual involucra la cobertura terrestre y su relación con los servicios ecosistémicos, ya que todo cambio en la cobertura terrestre produce una afectación a los ecosistemas y esta afectación amenaza directamente la sostenibilidad del medio ambiente. En Colombia “para año 2014, se alcanzaron 32.143 hectáreas anuales reforestadas superando la meta de cierre del milenio (23.000 ha por año) y la superficie total protegida por el Sistema de Parques Nacionales Naturales alcanzó el 6,9 % del territorio nacional, 0,3 puntos porcentuales por encima de la meta establecida para 2015 (6,6 %)” (CONPES, 2018).

El ODM 7, adicional al análisis de algunas coberturas terrestres naturales y usos del suelo, aborda la accesibilidad al agua potable. Aunque no enfatiza en la cantidad de fuentes contaminadas, o en la infraestructura asociada que ayuda a la provisión o regulación de este SE, se centra en el acceso que cada individuo desde su hogar, sea urbano o rural, tenga al agua (PNUD, 2015).

1.2.4 Las coberturas terrestres y los servicios ecosistémicos en los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Para darle continuidad a los ODM, en el 2015 la Asamblea General de las Naciones Unidas con más 193 países miembros, propone los Objetivos de Desarrollo Sostenible - ODS con visiones de resultado para el año 2030. En esta ocasión la ONU plantea una visión transformadora hacia la sostenibilidad económica, social y ambiental. Para lograr lo mencionado anteriormente se formulan 17 ODM, los cuales incluyen el estado inicial de cada región, un respectivo análisis de dicho estado y una posterior formulación que ayude a alcanzar la visión de desarrollo sostenible (CEPAL, 2016).

En la **Figura 3** se observan los 17 ODS, en los cuales el cuidado del medio ambiente se ve reflejado en los ODS 6, 7, 11, 12, 13, 14 y 15. Cada uno de estos siete objetivos involucran una gran variedad de ecosistemas y por consiguiente los SE que estos generan. Esto indica que el cuidado del medio ambiente es una cadena de acciones ejercidas por el hombre que pueden lograr la sostenibilidad del planeta, dichas acciones involucran directamente el espacio habitado y las transformaciones que los seres humanos hacen sobre este.



Figura 3. Objetivos de Desarrollo Sostenible – ODS (2015 – 2030)
Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2015)

1.3 Los servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial y en la gestión ambiental de Antioquia

El ordenamiento territorial en el departamento de Antioquia, ha estado presente de forma estructurada desde la década de los 90. Los procesos llevados a cabo desde entonces responden a la necesidad de organización del territorio, esta necesidad ha sido expresada desde la población y la administración, las cuales conjuntamente se han encargado de ejecutar distintos ejercicios de ordenamiento territorial.

Los avances en el ordenamiento territorial en el departamento de Antioquia, han dejado un inventario importante de proyectos en etapas de diagnóstico, formulación e implementación, a diferentes escalas territoriales como lo son, el crecimiento poblacional, la consolidación de conurbaciones y expansiones

urbanas, la capacidad de equipamientos portuarios, entre otros; pero en términos de elementos naturales y biodiversidad, el panorama para el ordenamiento territorial es distinto, ya que los diagnósticos revelan el aumento de la minería, la disminución de los bosques naturales, la contaminación de los ríos y la constante extinción de especies de flora y fauna (Toro, 2009).

Todos los elementos naturales y artificiales que identifica el ordenamiento territorial, desde la década de los 90 se posicionan sobre el territorio, afectando y transformando determinadas coberturas terrestres, que a su vez modifica la producción de SE. Por lo anterior es necesario abordar los ejercicios de ordenamiento territorial que ha desarrollado el departamento de Antioquia y la forma en que estos ejercicios han tomado en cuenta la producción de servicios ecosistémicos y su relación con la transformación de la cobertura terrestre.

1.3.1 Plan de Desarrollo Primero Antioquia (1995 – 1997)

Este plan es el primer ejercicio formal, de ordenamiento territorial para el departamento de Antioquia. Este plan se enmarca en los nuevos principios de la constitución política de 1991 y la Ley 152 de 1994 (Ley Orgánica del Plan de Desarrollo). En esta primera aproximación a un diagnóstico es con el fin de plantear una solución a las tensiones y dificultades presentes en el territorio. Hay que resaltar que este plan se desarrolla antes de la publicación de la Ley 388 de 1997 que corresponde a la Ley del Ordenamiento Territorial, esto hace del Plan de desarrollo Primero Antioquia un esfuerzo importante desde la administración departamental, en dar un panorama territorial del departamento antioqueño.

“El plan de desarrollo primero Antioquia, se plantea como una guía para el departamento que orienta la inversión pública hacia la remoción de los obstáculos estructurales que afectan el desarrollo del departamento, como lo son la violencia, la deficiente calidad y baja cobertura educativa y el déficit de infraestructura vial y de servicios.” (DAP, 1997)

Aunque este plan en su mayoría enfocado a la inversión social y planificación de infraestructura, en materia ambiental se resalta que la deforestación en todo el departamento es preocupante. Según la tasa de deforestación, que para ese entonces era de 100.000 hectáreas/año aproximadamente, las proyecciones del plan señalaban que para el año 2016 no habría bosques naturales en el territorio antioqueño (DAP, 1997). A pesar de que se nota el esfuerzo por una adecuada reforestación a través del aumento del bosque plantado, vale la pena decir que el bosque plantado y el bosque natural son coberturas terrestres independientes, ya que el primero no contiene las especies nativas y la vegetación secundaria necesaria que beneficie la conservación de la diversidad biológica, para ser catalogado como un tipo de bosque que aporte cualidades al medio ambiente de forma proporcional al bosque natural (Romero, Castillo, Meave, & Van Der Wal, 2000). En el numeral 1.2 se abordó la definición de las coberturas y en el capítulo IV se profundiza en su caracterización para el departamento de Antioquia.

En materia de otras coberturas el Plan de Desarrollo Primero Antioquia, menciona el aumento de explotación minera y las prácticas agrícolas y ganaderas inapropiadas, determinando que son la causa directa de la degradación de miles y miles de hectáreas de suelos y la enorme sedimentación y contaminación de los ríos que se ubican en el departamento (DAP, 1997).

1.3.2 Plan Estratégico de Antioquia – PLANEA (2003)

“El PLANEA es un proceso de planificación societal (social y estatal) que a partir de la visión de Antioquia al 2020, busca orientar los procesos de desarrollo del departamento, en los contextos nacional y global, mediante un pensamiento y unas acciones estratégicas soportadas en la información y comunicación” (Asamblea Constituyente de Antioquia, 2003)

Continuando con la noción de planificación y ordenamiento del territorio por el plan de Desarrollo Primero Antioquia, el PLANEA busca retomar los elementos del anterior plan, profundizando su desarrollo tanto en el diagnóstico como en sus estrategias de formulación e implementación. El carácter social de ordenamiento resaltado en los documentos técnicos del PLANEA es indiscutible, al igual que su alto compromiso con la participación ciudadana; lo anterior marca una tendencia importante en la concepción del territorio desde la institucionalidad; sin embargo, en materia ambiental se mencionan solo tres temáticas, 1. El plan de reforestación mediante bosque plantado, 2. El cuidado y la conservación del agua y la biodiversidad y 3. La extracción de recursos naturales y minerales (Asamblea Constituyente de Antioquia, 2003).

En algunos apartados de este plan, se identifican algunas áreas protegidas y su importancia ligada a la conservación de las fuentes hídricas; pero en materia de transformación de cobertura terrestre, diferente a la boscosa, no se presenta mayor análisis; esto se debe a que “históricamente el progreso y desarrollo de Antioquia ha estado soportado en la lucha y conquista del medio natural, para adecuarlo a las demandas del modelo de desarrollo imperante en cada momento (minería, industria, colonización, agrícola, etc.)” (Gaviria & Arango, 2007, pág. 24). Es por esto que desde el anterior plan se observa una deforestación creciente, asentamientos dispersos, contaminación, agotamiento del recurso hídrico y vulnerabilidad del sistema orográfico debido a la explotación minera y al desarrollo de infraestructura, sin consideración del medio natural. (Gaviria & Arango, 2007, pág. 25)

En síntesis, el planea obvia las condiciones de la cobertura terrestre y la generación de diferentes SE, además no aporta un análisis útil al ordenamiento territorial rural, es por esto que desde sus documentos técnicos de diagnóstico es difícil analizar las actividades agrícolas y pecuarias abordadas en su momento de desarrollo.

1.3.3 Lineamientos de Ordenación Territorial para Antioquia Fase I – LOTA (2007)

Los Lineamientos de Ordenación Territorial para Antioquia LOTA básicamente son las “pautas o criterios que permiten guiar el ordenamiento territorial y la toma de decisiones respecto al modelo de ocupación, la gestión de usos y funciones en el territorio y la localización de proyectos de infraestructura, los cuales deben orientar los planes y acciones de los actores con intereses sobre su uso, en los tres niveles, departamental, metropolitano y municipal (Comisión TRIPARTITA, 2008, pág. 31).

Al mencionar los 3 niveles es necesario señalar que el LOTA Fase I está soportado en la Comisión Tripartita, la cual es un acuerdo de voluntades firmado por la Gobernación de Antioquia, el Municipio de Medellín y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Esta comisión es una instancia de concentración de voluntades y escenarios de convergencia para desarrollar ámbitos, mecanismos y estrategias de planificación regional, integrada en pro del desarrollo y la competitividad regional y local (Comisión TRIPARTITA, 2008, pág. 21); que además es la primera que señala la necesidad de trabajar con tres temáticas que no habían sido propiamente abordadas en planes pasados, estas temáticas son :

1. Planificación regional y ordenamiento territorial
2. Agenda para la internacionalización.
3. Sistemas de información geográfica.

Adicionalmente el LOTA Fase I cuenta metodológicamente con la asesoría del Ministerio de Planeación de Chile MIDEPLAN y la Agencia Alemana de Cooperación GTZ, los cuales han tenido experiencias de planeación regional exitosa en Chile, susceptibles de ser replicadas en nuestro territorio, lógicamente atendiendo las demandas y relaciones sociales y políticas particulares que caracterizan al departamento de Antioquia (Comisión TRIPARTITA, 2008, pág. 26).

Una gran diferencia con los anteriores ejercicios de planificación es que el LOTA Fase I divide el territorio por subsistemas, dos de ellos, productivo y ambiental, implican el uso de coberturas terrestres, que permiten obtener un diagnóstico más completo y detallado del territorio. El subsistema productivo se divide en: 1. Agrícola, 2. Forestal comercial y 3. Pecuario; a pesar de no contar con una estandarización de coberturas terrestres, hay un esfuerzo considerable para delimitar cartográficamente aquellos territorios que poseen cultivos, bosques plantados y pastos. En este ejercicio de ordenamiento se señalan las tensiones que son generadas por la ganadería extensiva y las malas prácticas agrícolas, las cuales desencadenan una afectación directa de todos los subsistemas (Comisión TRIPARTITA, 2008).

El subsistema ambiental, según el LOTA Fase I, garantiza la funcionalidad de la base natural, para generar un desarrollo económico equitativo, socialmente comprometido y ecológicamente sostenible (Comisión TRIPARTITA, 2008, pág. 185).

El LOTA Fase I logra sustraer el plano ambiental y ponerlo como un subsistema, al mismo nivel de la agricultura, la ganadería o el turismo; lo más importante de este subsistema ambiental son las categorías de ordenamiento ambiental, que en otros ejercicios de ordenamiento se obviaban o se pasaban por alto, estas categorías son:

- Amenazas naturales
- Áreas degradadas
- Zonas de regulación hídrica
- Áreas protegidas
- Paisajes naturales
- Recursos marítimos

Como resultado, se producen una serie de mapas síntesis que denotan los intereses de conservación, protección y recuperación del departamento de Antioquia, que para ese entonces no habían sido mencionados por el ordenamiento territorial (Comisión TRIPARTITA, 2008, pág. 186). Para el objeto de esta investigación se identificó que el LOTA Fase I no plantea el análisis de transformación de la cobertura terrestre en algún periodo de tiempo pasado o pronóstico futuro; por consiguiente, tampoco se relacionan los servicios ecosistémicos asociados a las coberturas y se limita, simplemente a hacer un análisis de la cobertura actual.

1.3.4 Lineamientos de Ordenación Territorial para Antioquia Fase II – LOTA (2011)

La segunda Fase de Los Lineamientos de Ordenación Territorial para Antioquia, recoge en gran medida los dos ejercicios anteriores (PLANEA Y LOTA FASE I) de planeación y ordenamiento territorial. “El LOTA Fase II propone una particular forma de entender las tensiones y potencialidades del departamento, e identifican un conjunto de lineamientos, es decir acciones del gobierno departamental y local que van desde postulados normativos y de política pública, hasta acciones y programas orientados a desactivar las tensiones territoriales, y promover la consolidación de las potencialidades del territorio” (Comisión TRIPARTITA, 2012).

Como se mencionó anteriormente el LOTA Fase II recoge las iniciativas de la Fase I por tanto, lo que LOTA fase I identificó como subsistema, se retoma en la fase II bajo el nombre de componentes de análisis. Para identificar el manejo de la cobertura terrestre y la relación con los servicios ecosistémicos, se toma el componente de análisis de la productividad departamental, los componentes de análisis titulados, sistema regional e infraestructura y megaproyectos, agrupan una serie de elementos que con anterioridad estaban implícitos en otros subsistemas, y por lo general eran abordados subregionalmente. El LOTA Fase II propone una

continuidad territorial especialmente en su base natural, la cual consta de tres elementos principales, 1. Las áreas protegidas de acuerdo con lo establecido en la ley 2372 de 2010, 2. Las iniciativas de conservación provenientes de autoridades ambientales y 3. El reconocimiento de ecosistemas estratégicos para el departamento y las zonas de reserva forestal declaradas por la Ley 2^{da} de 1959 (Comisión TRIPARTITA, 2012). Los anteriores elementos hacen que el medio ambiente tenga importancia tanto física como legal, dejando en claro la necesidad de identificar y proteger ecosistemas estratégicos que básicamente son la fuente de SE de todo tipo.

En tanto al análisis productivo departamental, se expresa que la ocupación productiva del territorio posee tres problemáticas importantes, la primera son los conflictos de uso del suelo, la segunda son las altas concentraciones de propiedad de la tierra y la tercera la pérdida de cobertura asociada con el sistema productivo, estas tres problemáticas son fundamentales para el autoabastecimiento alimentario. Entre otras problemáticas mencionadas se presenta la tala indiscriminada de bosques, explotación del suelo y subsuelo y la implementación de formas de explotación agropecuaria de alta contaminación (Comisión TRIPARTITA, 2012).

Por la complejidad de las tensiones abordadas en el LOTA Fase II, surge la necesidad de mostrar un mapa de coberturas terrestres, en donde se identifican con precisión las áreas clasificadas con diferentes usos del suelo. Aunque se hace el análisis del estado presente de las coberturas, las transformaciones de dicha cobertura y la identificación de los SE que estas producen, siguen siendo rezagadas para la toma de decisiones en el ordenamiento territorial, esto se debe en gran medida a la falta de información, tanto nacional como departamental, la cual permite llevar a cabo un análisis más crítico de los cambios observados en la superficie departamental, y además poder plantear un escenario pronóstico de dichas transformaciones que contribuya a una acertada toma de decisiones.

En síntesis, los SE en el ordenamiento territorial del departamento de Antioquia, han sido un tema muy limitado, aunque en algunos planes se han vinculado con las coberturas terrestres, no hay un método específico que los relacione. Los SE que medianamente se han tomado en cuenta en el ordenamiento territorial de Antioquia, han sido el SE de aprovisionamiento de madera por medio del bosque plantado y el SE de aprovisionamiento y regulación hídrica asociado al bosque denso, sin embargo, estos dos servicios no van más allá de una identificación, esto en parte se debe a la falta de métodos de cuantificación y de aplicación en el ordenamiento territorial.

Adicionalmente, contar con el análisis de la producción de servicios ecosistémicos en diferentes periodos de tiempo, ayuda al ejercicio del ordenamiento territorial, ya que aporta un panorama pasado y presente que puede proveer un escenario futuro, el cual, de tener impactos negativos para el territorio, puede ser evitado por medio de la toma de decisiones ambientales que beneficien las condiciones de la producción de servicios ecosistémicos para el territorio.

Avanzar en la identificación y posterior cuantificación de los SE, en el ordenamiento territorial es de suma importancia, ya que brinda al análisis territorial una dimensión temporal que hasta el momento, es ausente en las herramientas de diagnóstico y formulación desarrolladas y aplicadas a nivel nacional; así mismo permite abordar problemáticas como el aumento de la deforestación y el bajo suministro de agua, no se verían limitadas al análisis de cifras generales, en cambio tendrían una dimensión temporal y espacial, que daría cuenta de lugares potenciales amenazados, en la producción de SE, por el cambio abrupto de la cobertura terrestre en determinado periodo de tiempo.

2. Metodología

2.1 Características físico – bióticas de Antioquia

El departamento de Antioquia se encuentra ubicado al noroccidente de Colombia y tiene una extensión aproximada de 64.000 Km². Este departamento fue fundado en 1830 y está conformado actualmente por 125 municipios, los cuales están agrupados en nueve subregiones. Cuenta con una población aproximada de 6 millones de habitantes y su capital es el municipio de Medellín. Está ubicado al norte de las cordilleras central y occidental y hace parte de las cuencas de los ríos Cauca y Magdalena, otros de sus ríos más importantes son el Atrato, Nechí y San Juan; adicionalmente tiene territorio costero sobre el océano atlántico, representado en el golfo de Urabá (IGAC, 2007, pág. 3).

2.1.1 Relieve y geomorfología

“El desarrollo geomorfológico del departamento de Antioquia está relacionado estrechamente con el origen y evolución de las cordilleras Central y Oriental, así como con la sedimentación en la cuenca del Caribe y su posterior deformación y levantamiento en desarrollo de la orogenia Andina” (IGAC, 2007).

En este departamento existen dos tipos de geo-formas dominantes que son cordilleras y valles, dichas geo formas determinan la caracterización general del relieve antioqueño.

Cordillera central: Esta cordillera se extiende desde el oriente en el valle de río Magdalena hasta el valle del río Cauca al centro del departamento; hacia el norte, la cordillera se va atenuando hasta llegar a la región de la cuenca baja de los ríos Cauca y Nechí. Al oriente del departamento se presenta un relieve colinado bajo, homogéneo que representa a su vez una altiplanicie erosionada y levantada. Hacia el norte, sur y oriente la cordillera presenta relieve montañoso y al norte se encuentra dividida por el río Porce en la cuchilla de San Miguel. En el oriente antioqueño se resalta la unidad geomorfológica llamada Altiplanicie del Oriente Antioqueño, en esta geofoma se ubica el batolito antioqueño el cual logra en la superficie un paisaje ondulado de colinas bajas (IGAC, 2007).

Esta cordillera representa aproximadamente el 50% del departamento de Antioquia, y más de la mitad de este territorio se encuentra en la categoría de territorios agrícolas, con una alta predominancia de pastos y cultivos, aunque la cobertura boscosa es inferior a los territorios agrícolas, beneficia considerablemente a los SE de regulación, el fuerte es la producción de alimentos (Gobernación de Antioquia, 2017).

Cordillera occidental: Esta cordillera se ubica al occidente del departamento y limita por el occidente con el valle del río Atrato y al oriente por el valle del río Cauca. La cordillera occidental se extiende desde los Farallones de Citará al norte y hacia el sur hasta el páramo de Frontino; esta cordillera es asimétrica, ya que presenta una vertiente corta al oriente hacia el río Cauca y una vertiente larga hacia el occidente en el río Atrato. Hacia el norte en límites con el departamento de Córdoba se localiza el Nudo de Paramillo donde nacen los ríos Sinú y San Jorge, dando lugar a la ramificación de tres serranías conocidas como Serranía de Abibe, San Jerónimo y Ayapel (IGAC, 2007).

Esta cordillera representa aproximadamente el 15% del departamento, y más de la mitad de su área se encuentra en bosques, la otra mitad son territorios agrícolas dominados en un 90% por pastos y solo el 10 % de este están cultivados (Gobernación de Antioquia, 2017). Gracias a su cobertura boscosa, este relieve

beneficia la producción de servicios ecosistémicos de regulación, y su extensión en cultivos agrícolas y pastos aportan a la generación de servicios ecosistémicos de aprovisionamiento.

Valle del río Atrato: Este valle se ubica al occidente del departamento y tiene una orientación norte sur, que desemboca en el Golfo de Urabá. Su parte norte hacia el golfo presenta un valle de 30 Km de ancho, mientras que al sur tiene un ancho de 10 Km. Sus depósitos recientes han desarrollado paisajes de llanuras y terrazas debido a la constante actividad dinámica del río Atrato y sus respectivos afluentes. El valle presenta amplias geformas fluviales de desarrollo reciente con paisajes de llanuras o planicies de inundación y terrazas, conformadas por depósitos recientes de drenaje pobre y zonas cenagosas (IGAC, 2007).

Este valle representa un 15% del departamento de Antioquia de los cuales un 60% se encuentra en cobertura de bosques, y el porcentaje restante se encuentra en territorios agrícolas con predominio de pastos (Gobernación de Antioquia, 2017). Al igual que en las cordilleras, el predominio de cobertura en este valle son los pastos, lo cual indica un considerable abastecimiento en SE de aprovisionamiento de alimentos, mientras que la cobertura boscosa aporta a los SE de regulación hídrica.

Valle del río Magdalena: El río Magdalena se localiza al extremo oriental del departamento de Antioquia, este presenta un valle de 100 Km de ancho, cubriendo solo la vertiente occidental del territorio antioqueño. El valle se extiende en dirección nor-noreste y desarrolla paisajes de amplias llanuras de inundación y terrazas (IGAC, 2007).

Este valle representa aproximadamente el 8% del departamento de Antioquia, y su cobertura predominante son los territorios agrícolas, los cuales se subdividen en predominancia de pastos seguida por cultivos agrícolas. Los bosques representan aproximadamente un 30% del valle lo cual se debe a su paisaje llano (Gobernación de Antioquia, 2017).

En tanto a los SE de regulación, se afectan por el porcentaje de bosques inferior al total del valle, por otra parte, su mayor producción está en los SE de aprovisionamiento de alimentos.

Valle del río Cauca: También es conocido como cañón del río Cauca, este valle es estrecho y va en dirección norte-sur, es cerrado en forma de "V" entre los municipios de Valdivia y Tarazá. Al centro del departamento es estrecho y se ensancha en Santa Fé de Antioquia, formado un valle más amplio con terrazas y colinas bajas, sus pendientes en general, tiene grandes niveles de inclinación (IGAC, 2007).

Este valle representa, al igual que el valle de la Magdalena, aproximadamente el 8 % del departamento de Antioquia, con predominio de territorios agrícolas de más del 50% de su extensión, lo cual favorece a los SE de aprovisionamiento de alimentos. Los bosques representan aproximadamente un 20% de la totalidad valle (Gobernación de Antioquia, 2017).

Valle de Aburrá: Es una depresión que va en dirección suroeste-noreste, aunque es una formación geológica, gran parte de su erosión es causada por la actividad del río Medellín y sus afluentes; vale la pena resaltar que el río Medellín presenta su desembocadura en el río Porce, cerca de Santa Rosa de Osos, además este valle presenta llanuras, terrazas y laderas muy erosionadas (IGAC, 2007).

2.1.2 Cuencas hidrográficas

“El aprovechamiento del recurso hídrico del departamento de Antioquia tiene su base en la disponibilidad de agua existente en las cuencas hidrográficas, en cuerpos naturales de agua como lagunas y represas, en humedales y en aguas oceánicas. Una cuenca hidrográfica es una porción de territorio donde se dispone de una red integrada de canales naturales de agua. La característica de una cuenca, la constituye su capacidad de disponibilidad de agua, la cual a su vez

depende del clima, del relieve, de las condiciones geológicas y de la geomorfología” (IGAC, 2007).

Cuenca del mar Caribe: Conformada por los ríos Atrato, Mulatos, San Juan, Currulao y Carepa. Esta cuenca cubre un 32% del área drenada del departamento. Sus ríos principales drenan sus aguas directamente hacia el mar Caribe.

Hacia el occidente, el río Atrato desemboca en el golfo de Urabá, este golfo presenta aproximadamente 290 kilómetros de costa, tiene forma de "U" conformado por acantilados, bahías, pequeñas playas y el delta del río Atrato (IGAC, 2007).

Esta cuenca hidrográfica comprende el 7% del departamento de Antioquia, y tiene grandes extensiones de territorios agrícolas en la subcategoría de pastos. Los bosques representan aproximadamente el 37% de la cuenca, por esto predomina la producción de SE de aprovisionamiento de alimentos (Gobernación de Antioquia, 2017).

Cuenca del río Cauca: Conformada por los ríos San Juan, Caramanta, Arma, Ituango, Tarazá, Man y Nechí. Esta cuenca atraviesa todo el departamento de Antioquia en dirección sur-norte, y se encuentra en jurisdicción de Corantioquia. Esta cuenca cubre un 46% del departamento de Antioquia, sus tributarios forman valles muy estrechos y empinados, controlados principalmente por fallas geológicas (IGAC, 2007).

La cuenca del río Cauca, representa el aproximadamente el 57% del departamento de Antioquia, con más de 3 millones de hectáreas, más del 50% de su cobertura son bosques seguido de territorios agrícolas compuestos en su mayoría por pastos. Esta cobertura hace a la cuenca del río Cauca la más importante tanto para la producción de SE de aprovisionamiento como de regulación (Gobernación de Antioquia, 2017).

Cuenca del río Magdalena: Conformada por los ríos Samaná, Cocorná, Narem Alicante y Cimitarra. Esta cuenca cubre aproximadamente el 22% de la red hidrográfica del departamento. Las cuencas altas de sus tributarios conforman valles estrechos, a medida que descienden se presenta topografía de montañas bajas, colinas y lomeríos que se difuminan hasta llegar al amplio valle del río Magdalena (IGAC, 2007).

Esta cuenca representa aproximadamente el 18% del departamento de Antioquia, y tiene su cobertura dividida en porcentajes similares de bosques y territorios agrícolas, los últimos tienen como cobertura dominante los pastos, beneficiando la producción de SE de aprovisionamiento de alimentos (Gobernación de Antioquia, 2017).

2.1.3 Clima

La variada y compleja topografía del departamento antioqueño, sumada a su gran cantidad de cuencas, estrechos valles, determinan una variabilidad climática que se ve reflejada en las diversas características de la cobertura vegetal de todo el departamento. Gracias a su ubicación geográfica, el departamento presenta un régimen de clima ecuatorial con algunas oscilaciones de temperatura durante el año, y dos máximas de lluvia (Espinal, 1985, pág. 11).

Las temperaturas más altas del departamento se presentan en las tierras bajas de las subregiones de Urabá y Nordeste, en los valles de los ríos Magdalena, Cauca, Porce y Nechí; las temperaturas más frías se registran en los páramos de Sonsón y Belmira (cordillera central) y de Frontino (Cordillera Occidental). Las temperaturas promedio de todo el departamento varían desde las zonas frías con 6,4°C hasta zonas muy cálidas 29,2°C aproximadamente (Poveda, 2016, pág. 119).

El vapor de agua que influye en el promedio anual de lluvias del departamento es transportado hasta Antioquia gracias a los vientos provenientes de los océanos Atlántico y Pacífico, pero también existe influencia del suelo y la

vegetación, principalmente de los valles mencionados anteriormente. El departamento posee una cantidad promedio de lluvia anual de 2.920 mm/año, una evapotranspiración promedio de 1.170 mm/año y una esorrentía promedio de 1.750 mm/año; la precipitación promedio varía en todo el departamento de 468,3 mm/año a 9.917 mm/año (Poveda, 2016, pág. 122).

El clima cálido (entre 0 y 1.000 metros de altura) comprende el 60% del departamento de Antioquia, y está dominado en un 55%, por bosques, esto aporta la producción de SE de regulación, y un 40% en territorios agrícolas, estos territorios tienen un predominio de pastos en más de un millón de hectáreas, lo cual hace que las coberturas en este tipo de clima, posean las áreas con mayor producción de SE de aprovisionamiento de alimentos del departamento (Gobernación de Antioquia, 2017)

El clima templado (entre 1.000 y 2.000 metros de altura) comprende un 23% del departamento, con un predominio del 60% en territorios agrícolas, los cuales están dominados por pastos, esto indica que las zonas templadas son fuente de producción de SE de aprovisionamiento de alimentos. Las coberturas boscosas representa, aproximadamente un 35% de tierras en clima templado (Gobernación de Antioquia, 2017).

El clima frío (entre 2.000 y 3.000 metros de altura) representa el 13% del departamento, y posee más del 60% en territorios agrícolas, divididos de forma equitativa en pastos y cultivos agrícolas. Los bosques representan menos del 30%, esto influye en la producción de SE de regulación (Gobernación de Antioquia, 2017).

Por último el clima muy frío (entre 3.000 y 4.000 metros de altura), representa menos del 2% del departamento de Antioquia, y posee un predominio de bosques de más del 70 %, esto indica que este tipo de clima, contribuye de forma directa a la producción de SE regulación (Gobernación de Antioquia, 2017).

2.1.4 Zonas de Vida

Una de las metodologías de clasificación más usada es las zonas de vida de L.R Holdridge. Cada zona de vida es determinada por temperatura, precipitación y evapotranspiración, lo anterior identifica áreas con condiciones físicas y ambientales similares, con el objeto de agrupar y analizar la fisionomía de las diferentes poblaciones y comunidades bióticas, para la planificación y manejo silvicultura de las mismas (IGAC, 2007).

“Para el departamento de Antioquia, las zonas de vida identificadas son 16 y la mayoría se ubican en las subregiones Norte y Urabá, mientras que el menor número están en las subregiones de Bajo Cauca y Nordeste” (IGAC, 2007). En la **Tabla 2**, se muestran las zonas de vida existentes en el departamento de Antioquia con su respectiva abreviatura, estas abreviaturas se retomarán en el capítulo de resultados, para el cálculo de los servicios ecosistémicos de regulación.

Tabla 2. Zonas de vida existentes en el departamento de Antioquia.

ZONA DE VIDA	ABREVIATURA
Bosque húmedo montano bajo	bh-MB
Bosque húmedo premontano	bh-PM
Bosque húmedo tropical	bh-T
Bosque muy húmedo montano	bmh-M
Bosque muy húmedo montano bajo	bmh-MB
Bosque muy húmedo premontano	bmh-PM
Bosque muy húmedo premontano transición tropical	bmh-PM-t
Bosque muy húmedo tropical	bmh-T
Bosque pluvial montano	bp-M
Bosque pluvial montano bajo	bp-MB
Bosque pluvial premontano	bp-PM
Bosque pluvial premontano transición tropical	bp-PM-t
Bosque pluvial tropical	bp-T
Bosque pluvial tropical transición tropical	bp-T-t
Bosque seco tropical	bs-T
Monte espinoso tropical	me-ST

Fuente: Elaboración propia con base en (IGAC, 2007)

En la **Figura 4**, se muestra el mapa del departamento de Antioquia con su respectivo relieve, ríos, división político administrativa y centro poblados.

2.1.5 Coberturas terrestres

La cobertura terrestre del departamento de Antioquia se encuentra dividida con un 45,92% en territorios agrícolas, de los cuales aproximadamente un tercio pertenece a pastos. En bosques y áreas semi-naturales se encuentra un 49,8% del territorio.

La mayoría de las áreas de pastos se encuentran en la franja central del departamento de sur a norte, otra parte se ubica en al costado oriental y una gran densidad de pastos se ubica en el Urabá antioqueño. Por otro lado, los bosques se encuentran concentrados, en su mayoría, en el costado occidental del departamento y otras dos partes menos densas se ubican en el sur oriente y nor-occidente, este último abarcando gran parte de la subregión del Bajo Cauca. Hay que resaltar que el 0,53% del territorio correspondiente a zonas de extracción minera se encuentran en su mayoría en la subregión mencionada. En la

Tabla 3 se observan los porcentajes generales de las coberturas terrestres del departamento de Antioquia.

Tabla 3. Porcentajes de coberturas terrestres del departamento de Antioquia con niveles de clasificación Corine Land Cover Colombia en los niveles I y II.

NIVEL I	%	NIVEL II	%
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	1,70	1.1 Zonas urbanizadas	1,11
		1.2 Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	0,04
		1.3 Zonas de extracción minera	0,53
		1.4 Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	0,03
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	45,92	2.1 Cultivos transitorios	0,02
		2.2 Cultivos permanentes	2,30
		2.3 Pastos	37,79
		2.4 Áreas agrícolas heterogeneas	5,82

3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	49,98	3.1 Bosques	35,68
		3.2 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	14,21
		3.3 Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	0,10
4. ÁREAS HÚMEDAS	0,90	4.1 Áreas húmedas continentales	0,90
5. SUPERFICIES DE AGUA	1,49	5.1 Aguas continentales	1,48
		5.2 Aguas marítimas	0,01

Fuente: *Shape* coberturas terrestres departamento de Antioquia 2016 – 2017.
Gobernación de Antioquia (2018)

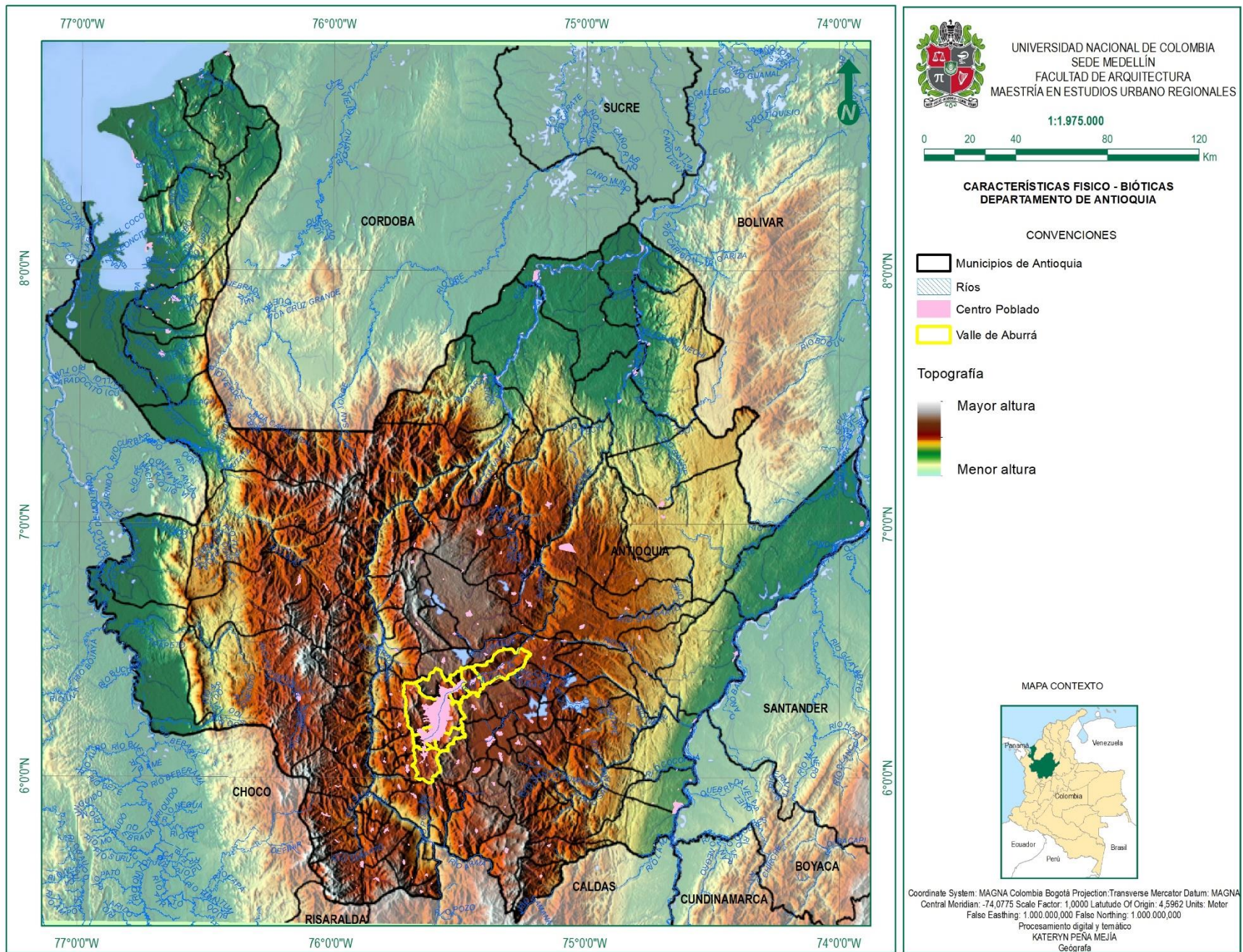


Figura 4. Mapa características físico – bióticas del departamento de Antioquia

Fuente: Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE ((DANE, 2013), imagen *raster* con base en Google Maps (2018)

2.1.6 División político – administrativa

Según el artículo 286 de la Constitución Política de Colombia del año 1991, “las entidades territoriales son los departamentos, los distritos, los municipios y los territorios indígenas” (República de Colombia, 1991, pág. 108). Así mismo el artículo 318 enfatiza que las entidades territoriales podrán dividir sus municipios en comunas cuando se trate de áreas urbanas y en corregimientos en caso de ser áreas rurales, mientras que el artículo 319, reglamenta la creación de áreas metropolitanas, en caso que existan relaciones económicas, sociales y físicas entre municipios (República de Colombia, 1991, pág. 119).

Soportado en lo anterior el Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE, crea el sistema de División Político Administrativa de Colombia – DIVIPOLA, el cual es un estándar de codificación que permite tener un listado digital y espacial, actualizado de la totalidad de las unidades en que se encuentra dividido el territorio nacional, dicho sistema le asigna a cada departamento, municipio, corregimiento y centro poblado, el máximo de estabilidad en su identificación (DANE, 2013).

El departamento de Antioquia es uno de los 32 departamentos del territorio colombiano, cuenta con 125 municipios, los cuales se dividen en 9 subregiones (**Figura 5**). La capital del departamento es el Municipio de Medellín el cual es el municipio central del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (DANE, 2013).

Estas subregiones han sido divididas atendiendo a sus características económicas, políticas y sociales que permiten un desarrollo territorial acorde a la caracterización geográfica, además cada subregión cuenta con otra subdivisión que genera un total de 27 zonas determinantes para los procesos de ordenamiento territorial (IGAC, 2007, pág. 11).

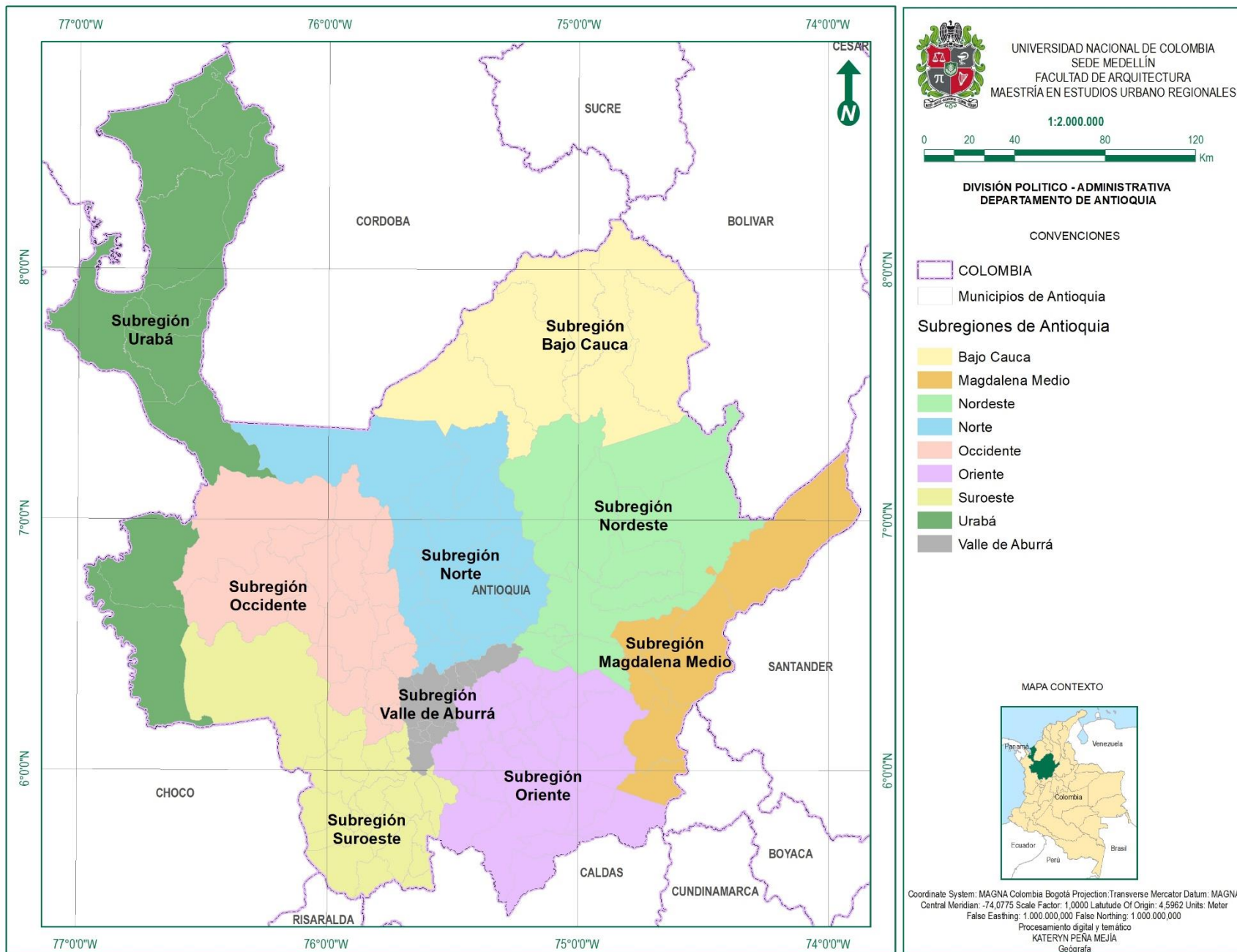


Figura 5. Mapa división político – administrativa del departamento de Antioquia
Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE ((DANE, 2013)

2.2 Análisis de los cambios de las coberturas terrestres

Todos los procedimientos cartográficos se realizaron en el software ArcGIS® v 10.5 de Esri. ArcGIS® y ArcMap™ son propiedad intelectual de Esri y son usados bajo licencia académica de la Universidad Nacional de Colombia, Copyright © Esri. Todos los derechos reservados.

En la **Tabla 4**, se encuentran todas las características espaciales, de las capas tipo *shape* (.shp), utilizadas para los diferentes procesos cartográficos.

Tabla 4. Propiedades espaciales generales de las capas para el procesamiento digital

ITEM	DESCRIPCIÓN
Projected Coordinate System:	MAGNA_Colombia_Bogota
Projection:	Transverse_Mercator
False_Easting:	1000000
False_Northing:	1000000
Central_Meridian:	-74,07750792
Scale_Factor:	1
Latitude_Of_Origin:	4,59620042
Linear Unit:	Meter
Geographic Coordinate System:	GCS_MAGNA
Datum:	D_MAGNA
Prime Meridian:	Greenwich
Angular Unit:	Degree

Fuente: Propiedades del shape Cober_Antioquia_2000_2002 - IDEAM.

Para realizar el proceso de transformación de la cobertura terrestre del departamento de Antioquia, fueron necesarias dos capas de información en formato tipo *shape*. La primera capa (**Figura 6**) corresponde a la capa de coberturas terrestres de Antioquia del periodo 2000 – 2002, la cual es obtenida del catálogo de mapas del Sistema de Información Ambiental de Colombia – SIAC, por descarga directa a través de su portal web, debido a que esta capa está disponible para toda Colombia, mediante la herramienta *Analysis Tools > Extract > Clip* del *ArcToolbox*, más la capa “Antioquia_Limite” se realiza una extracción espacial, con el fin de obtener la cobertura terrestre del departamento de Antioquia en el periodo 2000 –

2002, ya que para realizar el cambio de coberturas, es necesario tener el mismo polígono para los dos periodos a analizar.

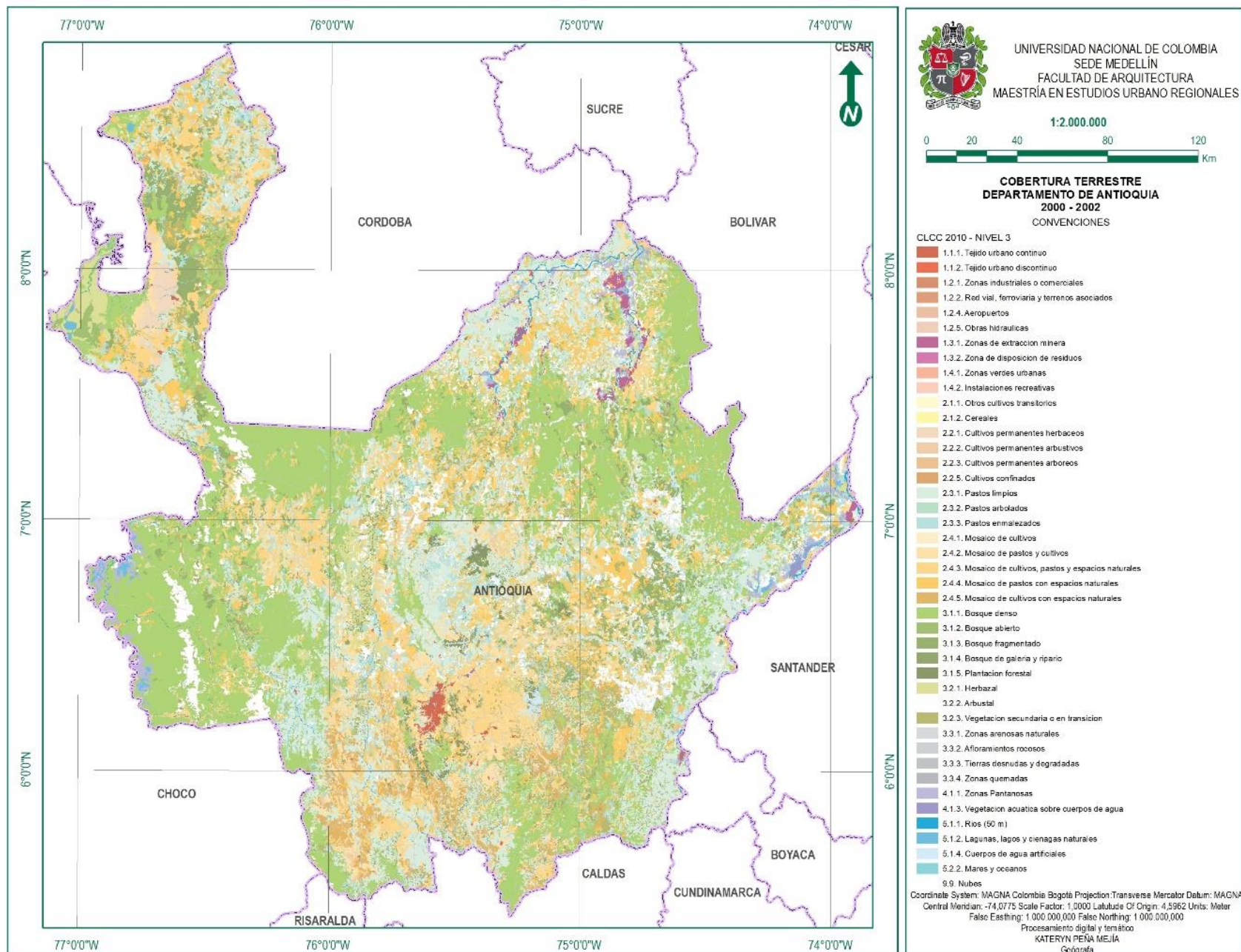


Figura 6. Mapa coberturas terrestres del departamento de Antioquia 2000 – 2002, nivel 3 metodología CLCC 2010
Fuente: Sistema de Información Ambiental de Colombia – SIAC

En la **Tabla 5**, se observa el tipo de polígonos correspondiente a cada cobertura terrestre, así como la sumatoria total de los polígonos por cobertura terrestre en hectáreas para el periodo 2000 – 2002, esta tabla se obtiene a partir de la sumatoria del atributo “Area_Ha” del *shape* “Cober_Antioquia_2000_2002” en ArcGis, por medio de la herramienta *Summarize*, posteriormente se extrae la tabla de atributos en formato *.dbf*, para ser procesada en Excel.

Tabla 5. Área total de la cobertura terrestre del departamento de Antioquia 2000 – 2002, nivel 3 metodología CLCC 2010

CLCC 2010 NIVEL 3	No. Polígonos	TOTAL ÁREA
1.1.1. Tejido urbano continuo	182	22.852,13
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	54	1.407,57
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	21	953,03
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	7	312,31
1.2.4. Aeropuertos	8	628,72
1.2.5. Obras hidráulicas	6	266,79
1.3.1. Zonas de extracción minera	122	28.938,74
1.3.2. Zona de disposición de residuos	1	6,42
1.4.1. Zonas verdes urbanas	1	257,21
1.4.2. Instalaciones recreativas	10	987,21
2.1.1. Otros cultivos transitorios	11	860,35
2.1.2. Cereales	1	83,93
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	34	34.875,03
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	243	25.901,19
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	8	568,27
2.2.5. Cultivos confinados	8	335,52
2.3.1. Pastos limpios	3555	1.203.700,62
2.3.2. Pastos arbolados	38	4.770,70
2.3.3. Pastos enmalezados	2727	354.893,92
2.4.1. Mosaico de cultivos	26	2.861,01
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	1249	265.548,93
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1675	593.113,86
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	2798	613.643,84
2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales	374	131.741,60
3.1.1. Bosque denso	1511	1.737.725,72
3.1.2. Bosque abierto	22	15.351,10
3.1.3. Bosque fragmentado	1031	264.807,81
3.1.4. Bosque de galería y ripario	392	41.324,21
3.1.5. Plantación forestal	158	36.091,60

3.2.1. Herbazal	221	107.303,59
3.2.2. Arbustal	1812	270.920,58
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	2071	283.858,90
3.3.1. Zonas arenosas naturales	60	3.133,63
3.3.2. Afloramientos rocosos	1	77,77
3.3.3. Tierras desnudas y degradadas	43	2.376,58
3.3.4. Zonas quemadas	25	1.737,25
4.1.1. Zonas Pantanosas	163	66.146,02
4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	13	5.127,32
5.1.1. Ríos (50 m)	58	48.246,25
5.1.2. Lagunas, lagos y cienagas naturales	86	17.579,21
5.1.4. Cuerpos de agua artificiales	10	11.526,43
5.2.2. Mares y océanos	1	0,31
9.9. Nubes	253	100.443,91
TOTAL	21090	6.303.287,06

Fuente: Shape coberturas terrestres departamento de Antioquia 2000 - 2002

La segunda es la capa (**Figura 7**) de coberturas terrestre de Antioquia del periodo 2016 – 2017, la cual es obtenida por medio del radicado 2018010246421 a la Gobernación de Antioquia, esta capa es producto sin publicar del Plan de Ordenamiento Territorial Agropecuario de Antioquia – POTA, por lo tanto posterior a su publicación puede diferir en algunas áreas de clasificación; la utilización de esta capa en la presente investigación es estrictamente con fines académicos, y su único distribuidor autorizado es la Gobernación de Antioquia.

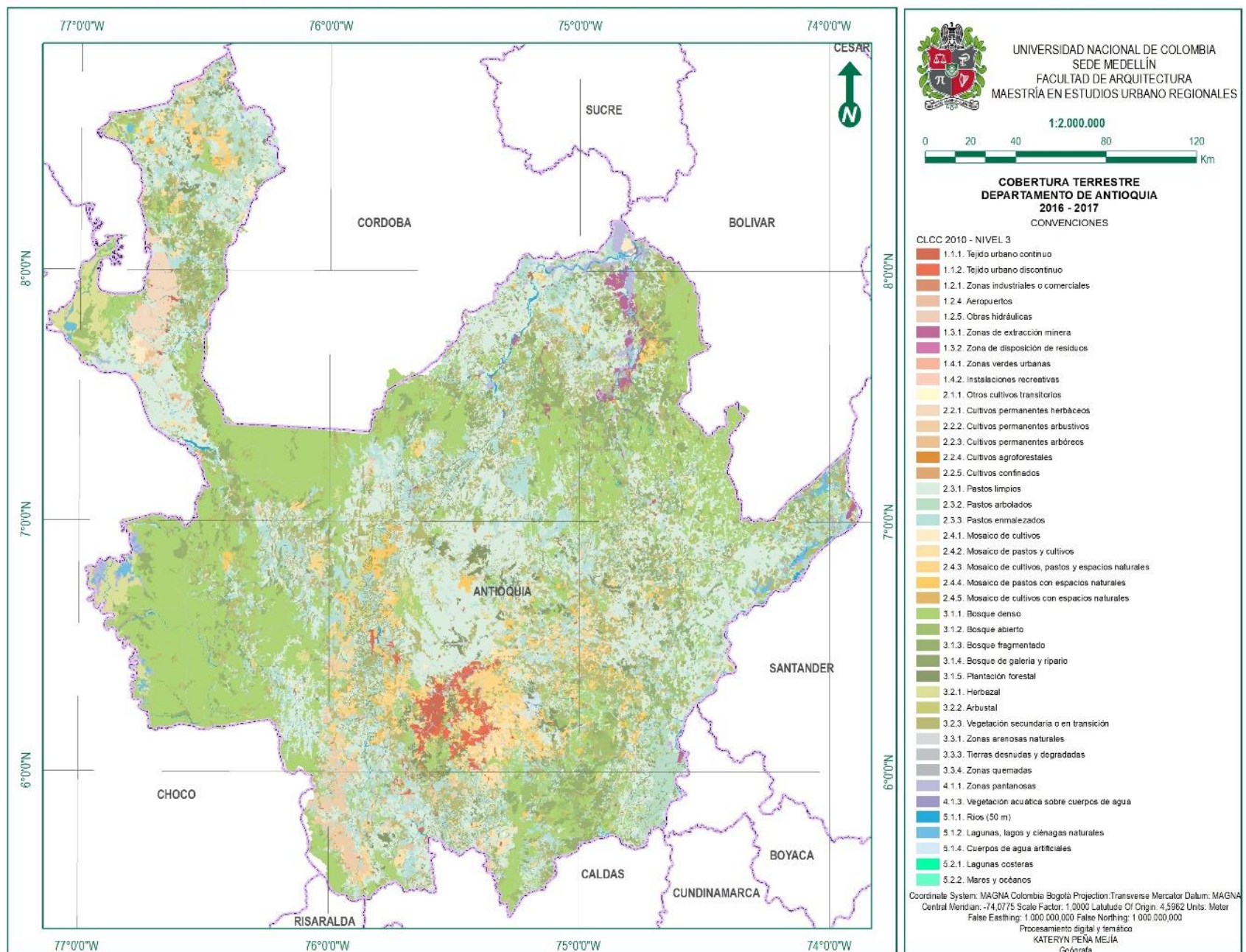


Figura 7. Mapa coberturas terrestres del departamento de Antioquia 2016 – 2017, nivel 3 metodología CLCC 2010
Fuente: Sistema de Información Ambiental de Colombia – SIAC

En la **Tabla 6** se observa el número de polígonos totales y el área total en hectáreas de cada cobertura terrestre para el periodo 2016 – 2017, esta tabla se obtiene a partir de la sumatoria del atributo “Area_Ha” del *shape* “Cober_Antioquia_2016_2017” en ArcGis, por medio de la herramienta *Summarize*, posteriormente se extrae la tabla de atributos en formato *.dbf*, para ser procesada en Excel.

Tabla 6. Área total de la cobertura terrestre del departamento de Antioquia 2016 – 2017, nivel 3 metodología CLCC 2010

CLCC 2010 NIVEL 3	No. Polígonos	TOTAL ÁREA
1.1.1. Tejido urbano continuo	192	27.524,49
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	181	42.432,60
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	21	1.231,67
1.2.4. Aeropuertos	11	633,95
1.2.5. Obras hidráulicas	7	432,04
1.3.1. Zonas de extracción minera	185	33.184,21
1.3.2. Zona de disposición de residuos	2	68,19
1.4.1. Zonas verdes urbanas	4	250,63
1.4.2. Instalaciones recreativas	16	1.449,67
2.1.1. Otros cultivos transitorios	9	990,51
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	53	59.365,83
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	201	71.200,02
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	54	12.618,54
2.2.4. Cultivos agroforestales	2	563,40
2.2.5. Cultivos confinados	24	1.107,89
2.3.1. Pastos limpios	3328	1.608.619,18
2.3.2. Pastos arbolados	617	156.615,88
2.3.3. Pastos enmalezados	3189	614.086,43
2.4.1. Mosaico de cultivos	90	23.485,34
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	245	87.651,10
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	351	152.065,14
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	312	91.709,84
2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales	89	11.456,33
3.1.1. Bosque denso	817	1.549.461,53
3.1.2. Bosque abierto	138	74.241,50
3.1.3. Bosque fragmentado	1273	445.614,74
3.1.4. Bosque de galería y ripario	641	99.056,94
3.1.5. Plantación forestal	306	78.003,16
3.2.1. Herbazal	148	116.485,52

Variación de las coberturas terrestres de Antioquia (2000-2017) y su relación con los servicios ecosistémicos de regulación y aprovisionamiento

3.2.2. Arbustal	203	29.188,81
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	3919	749.026,29
3.3.1. Zonas arenosas naturales	59	3.847,34
3.3.3. Tierras desnudas y degradadas	41	1.823,80
3.3.4. Zonas quemadas	3	346,07
4.1.1. Zonas pantanosas	155	56.007,89
4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	7	688,85
5.1.1. Ríos (50 m)	129	56.921,15
5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	110	24.108,32
5.1.4. Cuerpos de agua artificiales	15	12.080,63
5.2.1. Lagunas costeras	3	85,01
5.2.2. Mares y océanos	41	575,29
TOTAL	17191	6.296.305,71

Fuente: *Shape* de coberturas terrestres del departamento de Antioquia 2016 – 2017

Con los *shape* representados en la **Figura 6** y, **Figura 7** mediante la herramienta Analysis Tools > Overlay > Intersect del ArcToolbox, del atributo “NIVEL 3”, se realiza una intersección espacial, el resultado de dicha intersección es una capa en formato *shape*, que indica el cambio, tanto espacial como en hectáreas, que tuvo cada polígono de cobertura terrestre del periodo 2000 – 2002 al periodo 2016 – 2017 del departamento de Antioquia.

Adicional al proceso descrito anteriormente se procesan las tablas **Tabla 5** y **Tabla 6** en Excel, este proceso consiste en hacer una resta de las hectáreas por coberturas terrestres obtenidas del periodo 2016 – 2017, menos las hectáreas de coberturas terrestres obtenidas del periodo 2000 – 2002, el resultado es el aumento o la disminución, en hectáreas, de cada cobertura clasificada según la metodología CLCC 2010 en el nivel 3.

Es necesario precisar que, el total del área de las dos capas de coberturas terrestres del departamento de Antioquia, difieren en 115.745,72 hectáreas, esto se debe a que la capa del 2000 – 2002, es extraída por el límite del departamento de Antioquia, el cual fue adquirido de forma gratuita en el portal web del DANE, y el límite que presenta la capa 2016 – 2017 es la suministrada por la Gobernación

Antioquia, esto indica que las dos instituciones poseen diferentes límites departamentales.

2.3 Identificación de los servicios ecosistémicos por tipo de cobertura terrestre

La presente investigación pregunta por la relación de los servicios ecosistémicos con las coberturas terrestres y su variación en el tiempo. Debido a que todas las coberturas de forma individual o grupal, no se pueden asociar directamente a todos los servicios ecosistémicos, en la

Tabla 7 se definen los SE empleados para esta investigación.

Tabla 7. Clasificación y definición de los servicios ecosistémicos para la investigación

Clasificación de los SE	Servicio Ecosistémico	Definición	Referentes
REGULACIÓN	Agua	Comprende la regulación hídrica, producto de la interacción entre el suelo y la cobertura terrestre (Franco, 2010)	Escorrentía superficial, infiltración del horizonte orgánico, infiltración superficial y agua de drenaje profundo.
	Captación de CO ₂	Comprende el volumen de CO ₂ que retiene las plantas (Mota, Alcarás, Iglesias, Martínez, & Carvajal, 2010).	Bosques, vegetación, cultivos.
	Biomasa aérea	Comprende el tronco, hojas, ramas y follaje de las plantas	Bosques, Vegetación, cultivos
APROVISIONAMIENTO	Alimento	Comprende el alimento producido directamente de cultivos agrícolas. Nota: se incluye la producción de leche y carne con base en hectáreas de pasto por cabezas de ganado y vacas lecheras	Cultivos de todo tipo, papa, yuca, plátano, caña, arroz, etc.

Variación de las coberturas terrestres de Antioquia (2000-2017) y su relación con los servicios ecosistémicos de regulación y aprovisionamiento

	Madera	Comprende el producto de madera cortada de plantaciones forestales. Nota: Por falta de información no se idéntica la madera proveniente del bosque natural.	Rendimiento de plantaciones de pino, teca, entre otras
--	--------	--	--

Fuente: Elaboración propia con base en (Franco, 2010) y (Mota, Alcarás, Iglesias, Martínez, & Carvajal, 2010)

En la **Tabla 8**, se presenta la identificación de los servicios ecosistémicos por grupo de cobertura, las coberturas terrestres que no se muestran, corresponden a aquellas que no se asocian a ninguno de los servicios ecosistémicos analizados.

Tabla 8. Identificación de los servicios ecosistémicos de regulación y aprovisionamiento con las coberturas terrestres más representativas del departamento de Antioquia.

Clasificación de coberturas terrestres según metodología Corine Land Cover Colombia 2010		SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE APROVISIONAMIENTO			
CLCC	COBERTURA	Captura de CO ₂ y biomasa aérea	Agua (regulación)	Alimentos	Materias primas (origen biológico)
3.	BOSQUES				
3.1.1	Bosque denso	1	1	1	1
3.1.2	Bosque abierto	1	1	1	1
3.1.3	Bosque fragmentado	1	1	1	1
3.1.4	Bosque de galería ripario	1	1	1	1
3.1.5	Plantación forestal	1	0	0	1
	CULTIVOS				
2.2.1	Cultivos permanentes herbáceos	1	1	1	0
2.2.2	Cultivos permanentes arbustivos	1	1	1	0
2.2.3	Cultivos permanentes arbóreos	1	1	1	1

2.2.5	Cultivos confinados	1	1	1	0
2.4.1	Mosaico de cultivos	1	1	1	0
2.1.1	Otros cultivos transitorios	1	1	1	0
2.1.2	Cereales	1	1	1	0
2.4.5	Mosaico de cultivos con espacios naturales	1	1	1	1
	PASTOS				
2.3.1	Pastos limpios	1	0	1	0
2.3.2	Pastos arbolados	1	0	1	1
2.3.3	Pastos enmalezados	1	0	1	0
2.4.2	Mosaico de pastos y cultivos	1	0	1	0
2.4.3	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1	0	1	1
2.4.4	Mosaico de pastos con espacios naturales	1	0	1	1
	RASTROJOS				
3.2.1	Herbazal	1	1	1	0
3.2.2	Arbustal	1	1	1	0
3.2.3	Vegetación secundaria	1	1	1	0

Fuente: Elaboración propia con base en (Vásquez & Matallana, 2016)

2.4 Análisis de la relación del cambio de cobertura terrestre y variación del servicio ecosistémico producido

Para obtener la relación de los servicios ecosistémicos de regulación y aprovisionamiento, con la variación de la cobertura terrestre del departamento de Antioquia se consultó como primera medida, la identificación de los servicios ecosistémicos de regulación y aprovisionamiento, relacionados directamente con algunas coberturas del CLCC 2010, en el nivel 3 de detalle, esta identificación se realizó con base en el estudio citado en el marco teórico, *Identificación de los servicios ecosistémicos que proveen las diferentes áreas protegidas en la Orinoquia Colombiana, realizado por el Instituto Humboldt* (Vásquez & Matallana, 2016), el resultado de dicho estudio es una matriz con todas las coberturas analizadas para ambos periodos, esta matriz asocia, con el número “1”, la

identificación del SE en cada cobertura terrestre y con el número “0” la inexistencia del SE.

El proceso técnico más representativo de la presente investigación, ha sido, más que identificar el SE asociado a cada cobertura terrestre, avanzar a identificar la cantidad de cada SE asociado a las distintas coberturas terrestres, por hectárea, y luego totalizar la producción acorde a las hectáreas, para cada uno de los periodos analizados, esto identifica la pérdida o el aumento del cada servicio ecosistémico cuantificado.

Es necesario acotar que no es posible cuantificar todos los SE, y mucho menos asignarle uno o varios servicios a cada cobertura con exactitud, en parte esto se debe a la disponibilidad de información secundaria; así mismo los valores cuantificados, para evidenciar el aumento o la disminución de los SE, son aproximados y no determinan con precisión la producción de cada servicio, ya que diferentes variables como el clima, el suelo o la temperatura generan fluctuaciones en la producción de los SE.

A continuación, se muestran los procesos realizados para la obtención de cada una de las tablas que relacionan los SE con las coberturas terrestres y su correspondiente cuantificación.

2.4.1 Cambio de las coberturas terrestres y servicios ecosistémicos de regulación hídrica

Para elaborar las tablas de cambio de la cobertura terrestre asociada a la regulación hídrica, se tomaron cuatro características que son.

1. Escorrentía superficial
2. Infiltración del horizonte orgánico
3. Infiltración superficial
4. Agua de drenaje profundo

La medición de estas cuatro características se da en (mm/ha), y demuestra la lámina de agua que producen las coberturas tomadas por hectárea, su medición es tomada del estudio *Valoración económica, ecológica y socio – cultural de bienes y servicios ambientales en la cuenca de Río Grande* (CORANTIOQUIA, 2012). Posteriormente las anteriores características, se multiplican por las hectáreas registradas según la metodología CLCC 2010 nivel 3, para el año 2000 y 2017, dando así un aproximado del aumento o la disminución de la regulación hídrica en hectáreas que presento el departamento de Antioquia para las coberturas analizadas.

2.4.2 Cambio de las coberturas terrestres y servicios ecosistémicos de biomasa aérea y captación de CO₂

Para la elaboración de esta tabla se tomó la medición de biomasa aérea y captación de CO₂, por cobertura del estudio *Estimación de las reservas potenciales de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosque naturales de Colombia* (Phillips, y otros, 2005). Esta medida se expresa en (Ton/ha), y comprende todas las coberturas naturales; el proceso consiste en multiplicar la medida de biomasa aérea y la medida de la captación de CO₂, por el número de hectáreas registrada según la metodología CLCC 2010 nivel 3 para los periodos del 2000 y 2017, la resta de estos dos resultados evidencia el aumento o la disminución del servicio ecosistémica de regulación.

Debido a que el estudio que se tomó presentaba la medición de biomasa aérea y captación de CO₂, para el bosque natural según las Zonas de vida de Holdridge, se elaboró una tabla adicional, que presenta la asociación de los tipos de bosque del CLCC 2010 nivel 3, divididos por zona de vida en hectáreas, esto evidencia cual clasificación de bosque posee más hectáreas en determinada zona de vida, calculando así con mayor precisión la biomasa aérea y la captación de CO₂ en las áreas boscosas del departamento de Antioquia.

2.4.3 Cambio de las coberturas terrestres y servicios ecosistémicos de aprovisionamiento de alimentos

Para la elaboración de esta tabla, se realizó una búsqueda en los sitios web, de instituciones y portales informativos como CENICAFE, FINAGRO, AGRONET, DANE, FEDEARROZ, FEDEPALMA, ICA, Ministerio de Agricultura y ASOHOFRUCOL, que brindaran los datos de rendimientos de producción en toneladas por hectárea de algunos alimentos producidos en el departamento de Antioquia; posteriormente cada uno de estos datos es multiplicado por las hectáreas que se registran para los años 2000 y 2017, del grupo de coberturas CLCC 2010 nivel 3 que contiene a cada uno de los alimentos, logrando así evidenciar la cantidad del alimento, como servicio ecosistémico de aprovisionamiento, que aumentó o disminuyó en el departamento de Antioquia, en el periodo 2000 – 2017.

Se aclara que no es posible multiplicar directamente las hectáreas de cultivo de cada alimento, debido a que el nombre de cada uno de los alimentos, tiene un nivel 4 en la metodología CLCC 2010, esto denota una escala de detalle que actualmente no existe para la totalidad de un departamento en Colombia, y si existiera esta escala de detalle, no sería compatible con las coberturas registradas para el año 2000 que llegan hasta el nivel 3. Sin embargo, los procedimientos realizados en esta investigación, pueden ser aplicados a futuro en diferentes periodos de tiempo, con la única condición que las coberturas a analizar tengan la misma escala de detalle.

Para el análisis del servicio ecosistémico de alimento proveniente de la cobertura de pastos, se usaron los datos de cabezas de ganado por hectárea, las cabezas de ganado se clasificaron en tres grupos, vacas lecheras, cabezas de ganado, y cabezas de ganado tecnificado, estos datos multiplicados por las hectáreas de pastos limpios, arbolados y enmalezados, para los años 2000 y 2017, da la cantidad de tipos de reses, dispuestas para la producción de carne o lácteos que han sido posibles de tener en el departamento de Antioquia desde el año 2000

al 2017, logrando así identificar el aumento o la disminución del SE de aprovisionamiento de alimento medido en vacas lecheras o reses para producción de carne.

2.4.4 Coberturas terrestres y servicios ecosistémicos de aprovisionamiento de madera

Para calcular las coberturas asociadas al aprovisionamiento de madera se usaron los rendimientos de madera en ($m^3/ha/año$), de cuatro especies representativas de Antioquia que son:

1. *Eucalyptus grandis* – Eucalipto
2. *Gmelina arborea* – Melina
3. *Tectona grandis* – Teca
4. *Pinus patula* – Pino Patula

Los rendimientos de estas especies de plantaciones forestales fueron obtenidos de los portales web se CENICAFÉ y el Ministerio de Agricultura. Los rendimientos de madera multiplicado por el número de hectáreas en plantaciones forestales, da como resultado el estimado del SE de aprovisionamiento de madera en ($m^3/año$), de las cuatro especies mencionadas. Al igual que en el SE de alimentos, no es posible multiplicar directamente las hectáreas de cada una de estas plantaciones, ya que se salen de la escala de detalle, en la cual se encuentra disponible la información de coberturas terrestres del departamento de Antioquia. Sin embargo, el anterior calculo permite evidenciar el aumento o la disminución de madera de diferentes especies que se ubican en las áreas de las plantaciones forestales en el periodo de tiempo 2000 a 2017.

El rendimiento de madera en los bosques naturales no fue estimado, por falta de información de rendimientos en coberturas vegetales de origen natural.

Por último, se totalizó para el departamento de Antioquia, la variación de sus SE de regulación y aprovisionamiento, en función de su dinámica de cambio de cobertura terrestre para el periodo 2000 - 2017, de este cambio se resalta

principalmente la deforestación y la variación de coberturas vegetales agrarias, ya que estas dos coberturas contienen más del 90% del departamento. Lo anterior con el fin de crear un insumo para señalar problemáticas y tendencia que se deben considerar en el ordenamiento territorial nacional y departamental, este tipo de insumo conlleva a la realización de diagnósticos socio-económicos, territoriales y ambientales que dan cuenta del progreso territorial que se esté planificando.

3. Resultados

3.1 Cambio de la cobertura terrestre del departamento de Antioquia (2000 – 2017)

Para realizar de forma práctica el análisis de cambios y permanencias se tomaron en cuenta todos los polígonos superiores a 40.000 ha, ya que representan aproximadamente el 70% del área total del departamento de Antioquia. El resto de cambios poseen áreas muy pequeñas que se salen de la escala de análisis de la presente investigación.

En la **Tabla 9**, se observa que las dos coberturas con mayor predominio en el año 2000 son en primer lugar el bosque denso con un total de 1.737.725,72 ha y pastos limpios con un total de 1.203.700,62 ha, esto representa aproximadamente el 27% y 18% del departamento de Antioquia respectivamente. Para el año 2017 el bosque denso presenta un total de 1.549.461,53 ha y el pasto limpio un total de 1.608.619,18 ha, que representan aproximadamente el 24% y 25% respectivamente, esto indica que a pesar que ambas coberturas son predominantes en el periodo de tiempo analizado, existe una presión evidente en la disminución del bosque denso y el aumento del pasto limpio.

En cuanto a los cambios se evidencia que las coberturas terrestres que tuvieron mayores pérdidas en área (ha) del 2000 al 2017 fueron mosaico de pastos con espacios naturales -521.934,00, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales -441.048,72 y los Arbustales-241.731,76. Por otra parte, las coberturas

Variación de las coberturas terrestres de Antioquia (2000-2017) y su relación con los servicios ecosistémicos de regulación y aprovisionamiento

que presentaron mayor incremento fueron, pastos limpios 404.918,56, vegetación secundaria o en transición 465.167,39 y pastos enmalezados 259.192,51.

Tabla 9. Variación en hectáreas de la cobertura terrestre de Antioquia del año 2000 al 2017

Cobertura CLC Nivel 3	2000-2002	2016-2017	DIFERENCIA
1.1.1. Tejido urbano continuo	22.852,13	27.524,49	4.672,36
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	1.407,57	42.432,60	41.025,03
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	953,03	1.231,67	278,64
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	312,31	0	-312,31
1.2.4. Aeropuertos	628,72	633,95	5,23
1.2.5. Obras hidráulicas	266,79	432,04	165,25
1.3.1. Zonas de extracción minera	28.938,74	33.184,21	4.245,48
1.3.2. Zona de disposición de residuos	6,42	68,19	61,77
1.4.1. Zonas verdes urbanas	257,21	250,63	-6,58
1.4.2. Instalaciones recreativas	987,21	1.449,67	462,45
2.1.1. Otros cultivos transitorios	860,35	990,51	130,17
2.1.2. Cereales	83,93	0	-83,93
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	34.875,03	59.365,83	24.490,80
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	25.901,19	71.200,02	45.298,83
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	568,27	12.618,54	12.050,27
2.2.5. Cultivos confinados	335,52	1.107,89	772,37
2.3.1. Pastos limpios	1.203.700,62	1.608.619,18	404.918,56
2.3.2. Pastos arbolados	4.770,70	156.615,88	151.845,18

2.3.3. Pastos enmalezados	354.893,92	614.086,43	259.192,51
2.4.1. Mosaico de cultivos	2.861,01	23.485,34	20.624,33
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	265.548,93	87.651,10	177.897,83
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	593.113,86	152.065,14	-441.048,72
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	613.643,84	91.709,84	-521.934,00
2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales	131.741,60	11.456,33	- 120.285,27
3.1.1. Bosque denso	1.737.725,72	1.549.461,53	- 188.264,20
3.1.2. Bosque abierto	15.351,10	74.241,50	58.890,40
3.1.3. Bosque fragmentado	264.807,81	445.614,74	180.806,94
3.1.4. Bosque de galería y ripario	41.324,21	99.056,94	57.732,73
3.1.5. Plantación forestal	36.091,60	78.003,16	41.911,56
3.2.1. Herbazal	107.303,59	116.485,52	9.181,94
3.2.2. Arbustal	270.920,58	29.188,81	-241.731,76
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	283.858,90	749.026,29	465.167,39
3.3.1. Zonas arenosas naturales	3.133,63	3.847,34	713,71
3.3.2. Afloramientos rocosos	77,77	0,00	-77,77
3.3.3. Tierras desnudas y degradadas	2.376,58	1.823,80	-552,78
3.3.4. Zonas quemadas	1.737,25	346,07	-1.391,17
4.1.1. Zonas Pantanosas	66.146,02	56.007,89	-10.138,14
4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	5.127,32	688,85	-4.438,48
5.1.1. Ríos (50 m)	48.246,25	56.921,15	8.674,90
5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	17.579,21	24.108,32	6.529,11

Variación de las coberturas terrestres de Antioquia (2000-2017) y su relación con los servicios ecosistémicos de regulación y aprovisionamiento

5.1.4. Cuerpos de agua artificiales	11.526,43	12.080,63	554,20
5.2.1.Lagunas costeras	3	85,01	82,01
5.2.2.Mares y océanos	0,31	575,29	574,98
9.9. Nubes	100.443,91	0,00	-100.443,91
TOTAL	6.303.290,06	6.187.544,34	

Fuente: Elaboración propia con base en los *shape* de coberturas terrestres de Antioquia año 2000 y 2017, SIAC y Gobernación de Antioquia (2017)

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se muestran las 7 coberturas que no sufrieron cambios del año 2000 al 2017, por otro lado la

Tabla 10 especifica en hectáreas la permanencia de las coberturas terrestres del departamento de Antioquia para el periodo ya mencionado.

Tabla 10. Coberturas terrestres superiores a 40.000 hectáreas que se mantuvieron durante el periodo 2000 - 2017

Coberturas superiores a 40.000 hectáreas que se mantuvieron del 2000 al 2017	Total (ha)
3.1.1. Bosque denso	1.227.956,25
2.3.1. Pastos limpios	739.136,68
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	80.563,01
2.3.3. Pastos enmalezados	69.465,65
3.1.3. Bosque fragmentado	66.605,67
3.2.1. Herbazal	58.045,45
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	56.623,45

Fuente: Elaboración propia con base en los *shape* de coberturas terrestres de Antioquia año 2000 y 2017, SIAC y Gobernación de Antioquia (2017)

En tanto a la variación de la cobertura terrestre del departamento de Antioquia, en la **Tabla 11** se observa la cuantificación en hectáreas, de las áreas que cambiaron, estas mismas áreas corresponden al mapa presentado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

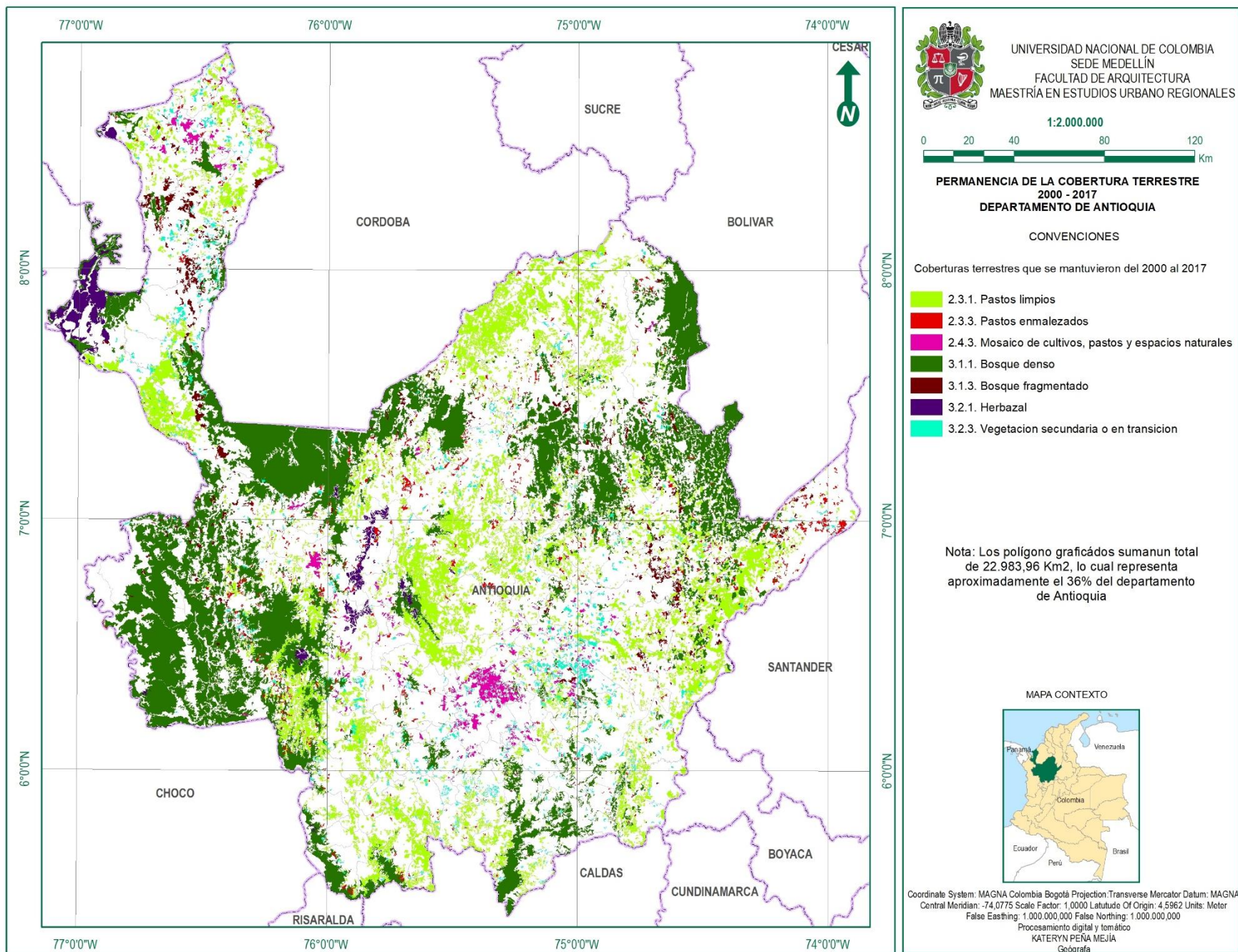


Figura 8. Mapa permanencia de la cobertura terrestre de Antioquia 2000 – 2017.

Fuente: Elaboración propia con base en los *shape* de coberturas terrestres de Antioquia año 2000 y 2017, SIAC y Gobernación de Antioquia

Tabla 11. Coberturas que presentaron cambios superiores a 40.000 hectáreas del año 2000 al 2017

Coberturas terrestres registradas 2000/2002	Coberturas terrestres existentes 2016/2017	Total del cambio de cobertura (ha)
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	3.1.1. Bosque denso	40.163,99
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	3.1.3. Bosque fragmentado	40.226,36
3.1.3. Bosque fragmentado	2.3.1. Pastos limpios	42.094,80
3.1.3. Bosque fragmentado	3.1.1. Bosque denso	43.611,16
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	2.3.1. Pastos limpios	46.575,76
3.2.2. Arbustal	2.3.1. Pastos limpios	54.543,27
3.1.3. Bosque fragmentado	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	58.592,64
2.3.3. Pastos enmalezados	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	63.140,82
9.9. Nubes	3.1.1. Bosque denso	68.785,73
2.3.1. Pastos limpios	2.3.2. Pastos arbolados	69.688,74
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	2.3.1. Pastos limpios	72.493,24
2.3.1. Pastos limpios	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	74.221,61
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2.3.3. Pastos enmalezados	79.384,07
3.2.2. Arbustal	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	82.140,62
3.1.1. Bosque denso	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	84.934,63
3.1.1. Bosque denso	2.3.1. Pastos limpios	85.275,11
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	2.3.3. Pastos enmalezados	98.748,22
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	98.834,46
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	125.485,56
2.3.3. Pastos enmalezados	2.3.1. Pastos limpios	132.796,31
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2.3.1. Pastos limpios	151.842,83
2.3.1. Pastos limpios	2.3.3. Pastos enmalezados	154.932,21
3.1.1. Bosque denso	3.1.3. Bosque fragmentado	181.703,81
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	2.3.1. Pastos limpios	204.864,11

Fuente: Elaboración propia con base en el *shape* de coberturas terrestres de Antioquia año 2000 y 2017, SIAC y Gobernación de Antioquia

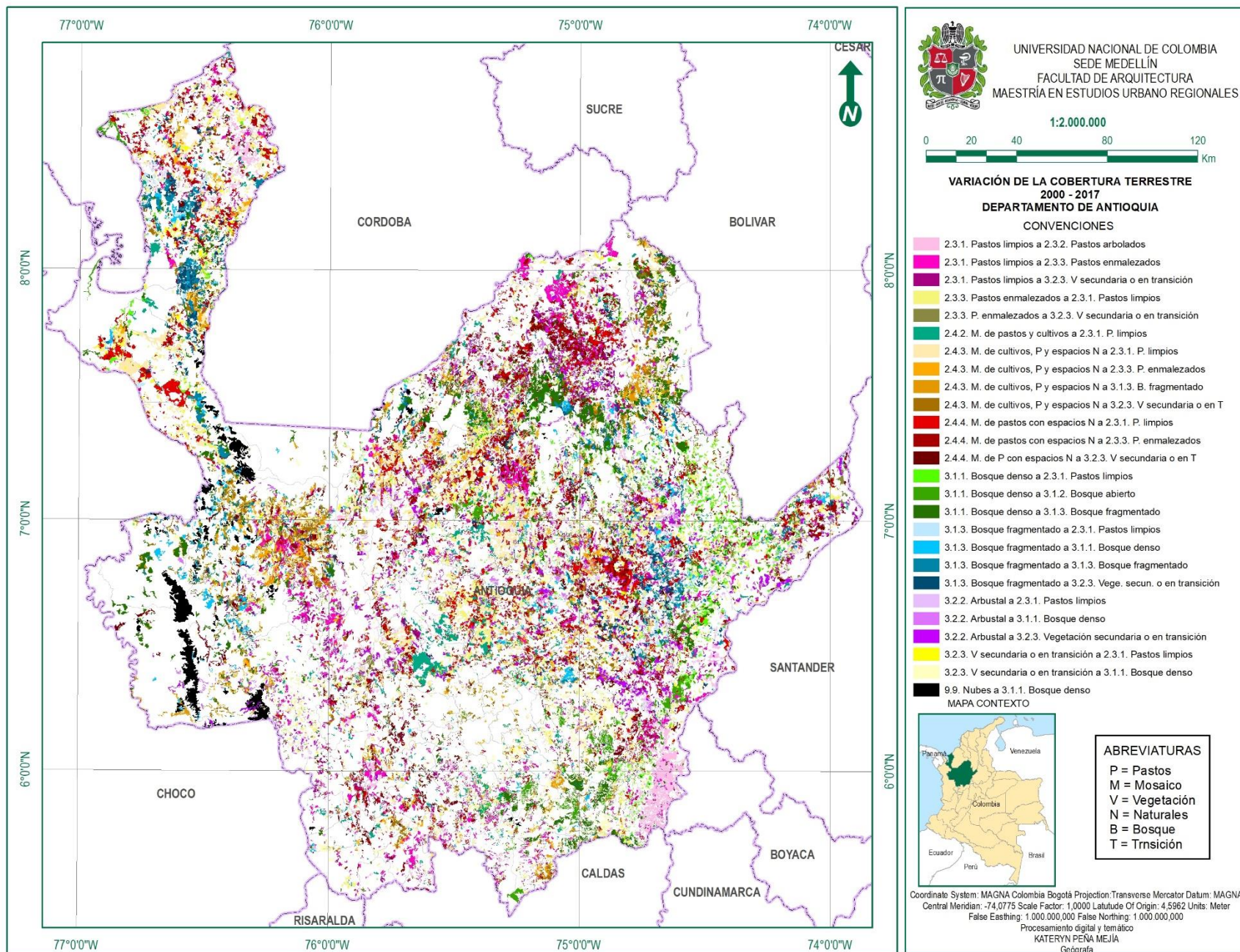


Figura 9. Mapa variación de la cobertura terrestre del departamento de Antioquia 2000 – 2017
Fuente: Elaboración propia con base en los *shape* de coberturas terrestres de Antioquia año 2000 y 2017, SIAC y Gobernación de Antioquia

3.2 Relación del cambio de coberturas terrestres con los servicios ecosistémicos de regulación

3.2.1 Cambio de las coberturas terrestres asociadas al servicio ecosistémico de regulación hídrica-

En el año 2000 la cobertura de bosque denso se relacionaba con una escorrentía superficial de 260,65 m, y los pastos limpios 18.464,61 m, para todo el departamento. En la **Tabla 12**, se observa que la cobertura de pastos limpios generó más escorrentía superficial que el bosque denso, lo cual indica que la cobertura terrestre de pasto limpio es un servicio ecosistémico que no está cumpliendo correctamente con su función de regulación, ya que el exceso de escorrentía superficial puede hacer que el terreno sea más propenso a condiciones de inundación, lo cual dificulta la rotación de otros cultivos agrícolas futuros.

Tabla 12. Escorrentía superficial en mm/ha, en 6 tipos de cobertura diferentes.

Cobertura CLC Nivel 3	Escorrentía Superficial - ES				
	2000-2002 (ha)	2016 - 2017 (ha)	ES (mm/ha)	DIFERENCIA (mm)	DIFERENCIA (m)
2.1.1. Otros cultivos transitorios (Papa) ⁴	860,35	990,51	19,91	2.591,67	2,59
2.3.1. Pastos limpios	1.203.700,62	1.608.619,18	15,30	6.195.253,95	6.195,25
3.1.1. Bosque denso	1.737.725,72	1.549.461,53	0,15	-28.239,63	-28,24
3.2.1. Herbazal	107.303,59	116.485,52	9,04	83.004,71	83,00
3.2.2. Arbustal	270.920,58	29.188,81	9,04	-2.185.255,15	-2.185,26
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	283.858,90	749.026,29	9,04	4.205.113,18	4.205,11

Fuente: Elaboración propia con base en (CORANTIOQUIA, 2012)

En la **Tabla 13**, se identifica que la cobertura que aportó mayor infiltración del horizonte orgánico del 2000 al 2017 son los pastos limpios, esto no quiere decir que esta cobertura aporte de forma positiva a la regulación hídrica, ya que la alta

⁴ Las hectáreas presentadas son de otros cultivos transitorios y la medición de la escorrentía toma de ejemplo para esta cobertura el cultivo de papa

infiltración del horizonte orgánico en la cobertura de pastos, se debe a la constante actividad ganadera que compacta el suelo causando la reducción de la porosidad y el aumento de la densidad del mismo, generando así en la superficie del terreno constantes encharcamientos que persisten aun varios días después de la presencia de lluvias (CORANTIOQUIA, 2012). Lo anterior genera un humedecimiento constante del horizonte orgánico que altera los datos de infiltración (mm/ha) recolectados, en relación con los datos de otras coberturas registradas.

La cobertura que más aporta realmente de forma positiva a la infiltración del horizonte orgánico es la vegetación secundaria o en transición, la cual generó un aumento de 24.737,60 m de lámina de agua entre los años 2000 y 2017.

Tabla 13. Infiltración del horizonte orgánico en mm/ha, en 5 tipos⁵ de cobertura diferentes.

Cobertura CLC Nivel 3	Infiltración del horizonte orgánico - IHO				
	2000-2002 (ha)	2016 - 2017 (ha)	IHO (mm/ha)	DIFERENCIA (mm)	DIFERENCIA (m)
2.3.1. Pastos limpios	1.203.700,62	1.608.619,18	159,04	64.398.247,63	64.398,25
3.1.1. Bosque denso	1.737.725,72	1.549.461,53	26,13	-4.919.343,44	-4.919,34
3.2.1. Herbazal	107.303,59	116.485,52	53,18	488.295,40	488,30
3.2.2. Arbustal	270.920,58	29.188,81	53,18	-	12.855,30
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	283.858,90	749.026,29	53,18	24.737.601,66	24.737,60

Fuente: Elaboración propia con base en (CORANTIOQUIA, 2012)

En la **Tabla 14** se observa que la infiltración superficial, que es la entrada de agua al suelo en un episodio de lluvia, de los pastos limpios y arbustales poseen diferencias inversas entre sí, gracias al notorio cambio en hectáreas que presentaron para el periodo analizado. Mientras la diferencia de hectáreas para los pastos limpios aportó 11.220,29 m de lámina de agua a la infiltración superficial,

⁵ El estudio citado no contempla los cultivos transitorios para la infiltración del horizonte orgánico

la disminución de los arbustales generó una pérdida de -10.679,71 m de lámina de agua en el departamento de Antioquia. Por otro lado, la cobertura que mayor infiltración superficial generó de 2000 a 2017 es vegetación secundaria o en transición con 20.551,10 m de lámina de agua.

Tabla 14. Infiltración superficial en mm/ha, en 6 tipos de cobertura diferentes.

Cobertura CLC Nivel 3	Infiltración Superficial - IS				
	2000-2002 (ha)	2016 - 2017 (ha)	IS (mm/ha)	DIFERENCIA (mm)	DIFERENCIA (m)
2.1.1. Otros cultivos transitorios (Papa)	860,35	990,51	19,87	2.586,46	2,59
2.3.1. Pastos limpios	1.203.700,62	1.608.619,18	27,71	11.220.293,27	11.220,29
3.1.1. Bosque denso	1.737.725,72	1.549.461,53	1,66	-312.518,57	-312,52
3.2.1. Herbazal	107.303,59	116.485,52	44,18	405.657,97	405,66
3.2.2. Arbustal	270.920,58	29.188,81	44,18	-10.679.709,36	-10.679,71
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	283.858,90	749.026,29	44,18	20.551.095,17	20.551,10

Fuente: Elaboración propia con base en (CORANTIOQUIA, 2012)

En la **Tabla 15**, la cobertura 3.2.3. Vegetación secundaria o en transición aporta un aumento considerable a la regulación hídrica del departamento en el periodo del 2000 al 2017, ya que su aumento de cobertura, generó 42.869,83 m de lámina de agua para el agua de drenaje profundo. La reducción de hectáreas en la cobertura 3.2.2. Arbustal, generó una pérdida de agua de drenaje profundo de -22.278 m de lámina de agua.

Tabla 15. Agua de drenaje profundo en mm/ha, en 6 tipos de cobertura diferentes.

Cobertura CLC Nivel 3	Agua de Drenaje Profundo - ADP				
	2000-2002 (ha)	2016 - 2017 (ha)	ADP (mm/ha)	DIFERENCIA (mm)	DIFERENCIA (m)
2.1.1. Otros cultivos transitorios (Papa)	860,35	990,51	14,05	1.828,88	1,83
2.3.1. Pastos limpios	1.203.700,62	1.608.619,18	23,42	9.483.192,65	9.483,19
3.1.1. Bosque denso	1.737.725,72	1.549.461,53	7,35	-1.383.741,84	-1.383,74
3.2.1. Herbazal	107.303,59	116.485,52	92,16	846.207,30	846,21

3.2.2. Arbustal	270.920,58	29.188,81	92,16	-22.277.999,42	-22.278,00
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	283.858,90	749.026,29	92,16	42.869.826,41	42.869,83

Fuente: Elaboración propia con base en (CORANTIOQUIA, 2012)

3.2.2 Cambio de coberturas terrestres asociadas al servicio ecosistémico de biomasa aérea y captación de CO₂

Con base en la **Esta** asociación se hace con base en los resultados del estudio “Estimación de las reservas potenciales de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia”, elaborado por el IDEAM .

Tabla 16, se puede decir que aproximadamente 5.791.226,38 ha, lo cual representa un 90% del departamento, están asociadas al servicios ecosistémico de biomasa aérea y captación de CO₂, también se observa que las coberturas con mayores pérdidas de captación de biomasa aérea y captura de CO₂ son arbustal y mosaico de pastos con espacios naturales, esto se debe en gran parte a la disminución abrupta de cobertura del 2000 al 2017. Por otro lado, la cobertura que, gracias a su aumento en hectáreas y a su naturaleza, logró una mayor captación de biomasa aérea y una mayor captura de CO₂ fue vegetación secundaria o en transición, superando a coberturas como plantación forestal. La clasificación de bosques naturales, se asocia con los servicios ecosistémicos de regulación de biomasa aérea y captación de CO₂, mediante el análisis de las zonas de vida. Esta asociación se hace con base en los resultados del estudio “Estimación de las reservas potenciales de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia”, elaborado por el IDEAM (Phillips, y otros, 2005).

Tabla 16. Diferencia de la captura de CO₂ y biomasa aérea en toneladas del año 2000 al 2017.

Cobertura CLC Nivel 3	2000-2002 (ha)	2016-2017 (ha)	BIOMAS A ÉREA (Ton/ha)	DIFERENCIA (Ton)	CAPTUR A DE CO ₂ (Ton/ha)	DIFERENCI A(Ton)
-----------------------	----------------	----------------	------------------------	------------------	--------------------------------------	------------------

Variación de las coberturas terrestres de Antioquia (2000-2017) y su relación con los servicios ecosistémicos de regulación y aprovisionamiento

2.1.1. Otros cultivos transitorios	860,35	990,51	8,4	1.093,42	4,20	546,71
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	34.875,03	59.365,83	57,8	1.415.568,42	28,90	707.784,21
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	25.901,19	71.200,02	57,8	2.618.272,61	28,90	1.309.136,31
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	568,27	12.618,54	57,8	696.505,47	28,90	348.252,74
2.3.1. Pastos limpios	1.203.700,62	1.608.619,18	12,7	5.142.465,70	6,40	2.591.478,78
2.3.2. Pastos arbolados	4.770,70	156.615,88	12,7	1.928.433,76	6,40	971.809,14
2.3.3. Pastos enmalezados	354.893,92	614.086,43	12,7	3.291.744,83	6,40	1.658.832,04
2.4.1. Mosaico de cultivos	2.861,01	23.485,34	11,5	237.179,75	5,80	119.621,09
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	613.643,84	91.709,84	12,7	-6.628.561,83	6,40	-3.340.377,62
2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales	131.741,60	11.456,33	11,5	-1.383.280,61	5,80	-697.654,57
3.1.5. Plantación forestal	36.091,60	78.003,16	179,8	7.535.698,63	89,90	3.767.849,32
3.2.1. Herbazal	107.303,59	116.485,52	28,2	258.930,62	14,10	129.465,31
3.2.2. Arbustal	270.920,58	29.188,81	47,5	-11.482.258,82	23,80	-5.753.216,00
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	283.858,90	749.026,29	39,2	18.234.561,58	19,60	9.117.280,79

TOTAL	5.131.200,0	5.791.226,38				
-------	-------------	--------------	--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia con base en (Phillips, y otros, 2005)

Para el caso del bosque natural en la **Tabla 17**, se observa que el bosque denso en sus categorías de zonas de vida bh-T, bh-M, bmh-MB, bmh-PM, bp-M y bp-PM, perdió grandes hectáreas de bosques, por lo cual registra una disminución considerable en la captura de biomasa aérea y captación de CO₂, para el periodo 2000 – 2017. Vale la pena resaltar que por su cantidad de hectáreas en importantes zonas de vida el bosque denso en su categoría bs-T, presenta la mayor biomasa aérea 70.646.474,81 (Ton/ha) y la mayor captura de CO₂ 35.323.237,40 (Ton/ha), registrada en todo el departamento para el periodo 2000 – 2017

El bosque fragmentado también presenta disminuciones en sus zonas de vida bh-PM y bmh-PM, perjudicando también los dos SE de regulación presentados en la **Tabla 16**. En tanto a la regulación de estos dos SE, posee una captación de biomasa aérea de 7.384.510,66 (Ton/ha), y una captura de CO₂ de 3.693.653,38 (Ton/ha), ambas para la zona de vida bh-T.

Variación de las coberturas terrestres de Antioquia (2000-2017) y su relación con los servicios ecosistémicos de regulación y aprovisionamiento

Tabla 17 Diferencia de la captura de CO2 y biomasa aérea en toneladas del año 2000 al 2017, para bosques naturales en las zonas de vida de Holdridge

Cobertura CLC Nivel 3	ZONA DE VIDA	2000 - 2002 (ha)	2016 - 2017 (ha)	BIOMASA ÉREA (Ton/ha)	DIFERENCIA (Ton)	CAPTURA DE CO2	DIFERENCIA (Ton)
3.1.1. Bosque denso	bh - MB	2.291,68	17.303,85	295,1	4.430.091,37	147,5	2.214.295,08
	bh - PM	1.148,36	1.486,90	114,1	38.627,41	57	19.296,78
	bh - T	86.741,23	47.210,83	264,1	-10.439.978,64	132,1	-5.221.965,84
	bh - M	222.006,29	102.952,71	125,5	-14.941.224,29	72,7	-8.655.195,27
	bmh - MB	105.096,62	96.737,62	260,1	-2.174.175,90	130	-1.086.670,00
	bmh - PM	65.670,14	64.514,53	182,9	-211.361,07	91,5	-105.738,31
	bmh - PM - t	177.962,13	221.373,19		0,00		0,00
	bmh - T	219.176,76	228.808,40	165	1.589.220,60	82,5	794.610,30
	bp - M	80.705,31	30.421,18	106,4	-5.350.231,43	53,2	-2.675.115,72
	bp - MB	103.810,16	290.556,27	105,3	19.664.365,38	52,6	9.822.845,39
	bp - PM	504.472,01	424.869,68	213,5	-16.995.097,46	106,8	-8.501.528,84
	bp - PM - t	154.725,89	9.981,62		0,00		0,00
	bp - T	368,83	747,51	172,2	65.208,70	86,1	32.604,35
	bs - T	712,16	735.083,00	96,2	70.646.474,81	48,1	35.323.237,40
me -ST	12.399,25	5.016,00		0,00		0,00	
3.1.2 Bosque abierto	bh - MB	0,00	149,83	295,1	44.214,83	147,5	22.099,93
	bh - T	25,10	12.196,65	264,1	3.214.506,36	132,1	1.607.861,76
	bmh - M	0,00	179,51	125,5	22.528,51	72,7	13.050,38
	bmh - MB	0,00	2.757,00	260,1	717.095,70	130	358.410,00
	bmh - PM	95,60	15.377,40	182,9	2.795.041,22	91,5	1.398.284,70
	bmh - PM - t	13.092,38	17.004,25		0,00		0,00
	bmh - T	1.162,21	8.037,89	165	1.134.487,20	82,5	567.243,60

	bp - MB	38,10	813,54	105,3	81.653,83	52,6	40.788,14
	bp - PM	254,99	14.241,20	213,5	2.986.055,84	106,8	1.493.727,23
	me -ST	197,68	2.907,17		0,00		0,00
3.1.3 Bosque fragmentado	bh-MB	307,74	168,18	295,1	-41.184,16	147,5	-20.585,10
	bh-PM	215,16	494,41	114,1	31.862,43	57	15.917,25
	bh-T	32.584,44	60.545,48	264,1	7.384.510,66	132,1	3.693.653,38
	bmh-MB	9.902,17	21.658,47	260,1	3.057.813,63	130	1.528.319,00
	bmh-PM	59.086,06	25.748,17	182,9	-6.097.500,08	91,5	-3.050.416,94
	bmh-PM-t	95.056,05	177.933,49		0,00		0,00
	bmh-T	43.138,95	87.717,38	165	7.355.440,95	82,5	3.677.720,48
	bp-M	101,71	261,41	106,4	16.992,08	53,2	8.496,04
	bp-MB	552,29	5.682,32	105,3	540.192,16	52,6	269.839,58
	bp-PM	18.588,17	46.518,07	213,5	5.963.033,65	106,8	2.982.913,32
	bp-PM-t	3.224,44	15.777,18		0,00		0,00
	bp-T	367,38	513,18	172,2	25.106,76	86,1	12.553,38
	bp-T-t	53,99	140,60		0,00		0,00
	bs - T	257,69	1.749,29	96,2	143.491,92	48,1	71.745,96
	me-ST	1.309,94	662,37		0,00		0,00
	3.1.4 Bosque de galería ripario	bh-MB		762,11	295,1	224.898,66	147,5
bh-PM		4.442,79	10.516,11	114,1	692.965,81	57	346.179,24
bh-T		3.427,69	17.198,61	264,1	3.636.899,97	132,1	1.819.138,53
bmh-M			297,50	125,5	37.336,25	72,7	21.628,25
bmh-MB		8.499,03	13.289,43	260,1	1.245.983,04	130	622.752,00
bmh-PM		4.328,99	7.440,82	182,9	569.153,71	91,5	284.732,45
bmh-PM-t		3.581,00	11.818,13		0,00		0,00
bmh-T		2.888,40	3.803,47	165	150.986,55	82,5	75.493,28
bp-PM		1.560,64	4.033,48	213,5	527.951,34	106,8	264.099,31
bs-T	12.078,80	29.017,48	96,2	1.629.501,02	48,1	814.750,51	

Variación de las coberturas terrestres de Antioquia (2000-2017) y su relación con los servicios ecosistémicos de regulación y aprovisionamiento

	me-ST	516,00	879,20		0,00		0,00
--	-------	--------	--------	--	------	--	------

Fuente: Elaboración propia con base en (Phillips, y otros, 2005)

3.3 Relación del cambio de coberturas terrestres con los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento

3.3.1 Cambio de coberturas terrestres asociadas al servicio ecosistémico de aprovisionamiento de alimentos

En total para el departamento de Antioquia, unas 254.320,83 ha se encuentran destinadas a cultivos agrícolas, excluyendo los pastos ya que, aunque aportan al SE de alimentos, su producción difiere de los otros cultivos. En la **Tabla 18**, se muestra que por la pérdida de las hectáreas en la cobertura mosaico de pastos y cultivo, tomando como cultivo representativo la papa⁶, se generan grandes pérdidas, en el los SE de aprovisionamiento de alimentos. El resto de rendimientos por cultivo, con base en el cambio de coberturas del 2000 al 2017, aumentan su producción en toneladas en un rango de 50.000 a 500.000 toneladas aproximadamente, con algunas excepciones.

Es necesario aclarar que la homologación proyectada en la **Tabla 18**, de los cultivos específicos (café, Caña panelera, cacao, etc.) con el nivel 3 del CLCC, surge por la falta de información de coberturas terrestres más detalladas, que permitan analizar la verdadera pérdida o aumento en la producción de algún alimento determinado.

Tabla 18. Diferencia de la producción de alimento en toneladas del 2000 al 2017 en relación con el CLCC 2010 nivel 3

CULTIVO	PRODUCCIÓN (Ton/ha)	CLCC 2010 NIVEL 3	2000-2002 (ha)	2016-2017 (ha)	DIFERENCIA (Ton)
Café	1	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	25.901,19	71.200,02	45.298,83
Caña panelera	4,3	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	34.875,03	59.365,83	105.310,45

⁶ No se toma la cobertura 2.1.5. Tubérculos, que es la más apropiada para el cultivo de papa, ya que esta clasificación no se encuentra para el departamento de Antioquia para ninguno de los dos años analizados.

Cacao	6	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	25.901,19	71.200,02	271.793,00
Yuca	12,4	2.4.1. Mosaico de cultivos	2.861,01	23.485,34	255.741,65
Papa	16,3	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	265.548,93	87.651,10	-2.899.734,64
Arroz	5,7	2.1.2. Cereales	83,93	0	-478,39
Maíz	3,49	2.1.2. Cereales	83,93	0	-292,91
Palma Africana	25 a 30	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	568,27	12.618,54	301.256,69 a 361.508,03
Trigo	2,3	2.1.2. Cereales	83,93	0	-193,03
Cabada	2,4	2.1.2. Cereales	83,93	0	-201,43
Sorgo	4,8	2.1.2. Cereales	83,93	0	-402,85
Plátano	7,3	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	34.875,03	59.365,83	178.782,86
Cereales	3,5	2.1.2. Cereales	83,93	0	-293,75
Aguacate	10	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	568,27	12.618,54	120.502,68
Banano	29,62	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	34.875,03	59.365,83	725.417,59
Guanábana	3,5	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	568,27	12.618,54	42.175,94
Lima Tahití	35,6	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	568,27	12.618,54	428.989,53
Mandarina	22,7	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	568,27	12.618,54	273.541,08
Mango	6,5	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	568,27	12.618,54	78.326,74
Naranja	22,45	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	568,27	12.618,54	270.528,51
Papaya	33,75	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	34.875,03	59.365,83	826.564,60

Tomate de Árbol	30,6	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	568,27	12.618,54	368.738,19
-----------------	------	--------------------------------------	--------	-----------	------------

Fuente: Elaboración propia con base en CENICAFE, FINAGRO, AGRONET, DANE, FEDEARROZ, FEDEPALMA, ICA, Ministerio de Agricultura y ASOHOFRUCOL (2017)

En la **Tabla 19**, se observa que la mayor cantidad de pastos que favoreció la tenencia de ganado en el periodo 2000 – 2017, está en la cobertura 2.3.1. Pastos limpios, aumentaron más de 600.000 vacas lecheras, más de 1.200.000 cabezas de ganado y más de 1.600.000 de cabezas de ganado tecnificadas, aunque la cobertura 2.3.3. Pastos enmalezados, presenta un aumento de hectáreas importante, por tanto, mayor capacidad del aumento del SE de aprovisionamiento de alimento, no son los mejores pastos, esto posiblemente varíe aún más el rango, de cabezas de ganado posibles en estos polígonos.

Tabla 19. Diferencia de la tenencia de ganado por No. de reces del 2000 al 2017 en relación con el CLCC 2010 nivel 3

	No. Reces/hectárea	CLCC 2010 NIVEL 3	2000-2002 (ha)	2016-2017 (ha)	DERENCIA (No. Reces)
Vacas lecheras	1,5 a 1,8	2.3.1. Pastos limpios	1.203.700,62	1.608.619,18	607.377,83 a 728.853,40
Cabezas de ganado	3 a 4				1.214.755,67 a 1.619.674,23
Cabezas de ganado (Tecnificado)	4 a 5				1.619.674,23 a 2.024.592,79
Vacas lecheras	1,5 a 1,8	2.3.2. Pastos arbolados	4.770,70	156.615,88	227.767,77 a 273.321,32
Cabezas de ganado	3 a 4				455.535,53 a 607.380,71
Cabezas de ganado (Tecnificado)	4 a 5				607.380,71 a 759.225,89
Vacas lecheras	1,5 a 1,8	2.3.3. Pastos enmalezados	354.893,92	614.086,42	282.320,58 a 466.546,51

Cabezas de ganado	3 a 4				777.577,52 a 1.036.770,02
Cabezas de ganado (Tecnificado)	4 a 5				1.036.770,02 a 1.295.962,53

Fuente: Elaboración propia con base en, FEDEGAN, FINAGRO, CONTEXTO GANADERO (2017)

3.3.2 Cambio de coberturas terrestres asociadas al servicio ecosistémico de aprovisionamiento de madera

En la **Tabla 20**, se observa que las plantaciones forestales para el periodo 2000 – 2017, tuvo un aumento superior a las 30.000 hectáreas, la cual indica un aumento en el SE de aprovisionamiento de madera, y la especie sembrada en el departamento de Antioquia que más producción podría obtener en el área de plantaciones forestales es el Eucalipto, sin embargo la favorabilidad de la producción de la madera, contiene mayores variables, que no son estudiadas a fondo en esta investigación.

Tabla 20. Diferencia de la producción en toneladas de cuatro tipos de plantación forestal en relación a la cobertura terrestre correspondiente del CLCC 2010 nivel 3.

	PRODUCCIÓN m ³ /ha/año	CLCC 2010 NIVEL 3	2000-2002 (ha)	2016-2017 (ha)	DIFERENCIA (m ³ /año)
<i>Eucalyptus grandis</i> <i>Eucalipto</i>	25 a 40	3.1.5. Plantación forestal	36.091,60	78.003,16	104.7789,02 a 1.676.462,43
<i>Gmelina arborea</i> <i>Melina</i>	30 a 35				125.7346,82 a 1.466.904,62
<i>Tectona grandis</i> <i>Teca</i>	7 a 10				293.380,92 a 419.115,60
<i>Pinus Patula</i>	25 a 30				1.047.789,02 a 1.257.346,82

Fuente: Elaboración propia con base en CENICAFE y el Ministerio de Agricultura (2017)

En síntesis, para el 2017 la cobertura terrestre con mayor área en el departamento de Antioquia, era el pasto limpio con un total aproximado de 1.608.619 ha, en el año 2000 esta cobertura ocupaba el mismo lugar con un total

aproximado de 1.203.700 hectáreas. Es decir, tuvo un aumento de 404.918 ha, las cuales reflejan un aumento de servicios ecosistémicos de aprovisionamiento en producción de la lácteos y carnes, ya que en el área aumentada es posible tener en promedio 668.115 vacas lecheras, o 1.417.214 cabezas de ganado, o 1.822.133 cabezas de ganado tecnificado. La cobertura de pastos limpios fue la segunda, con mayores hectáreas, que se mantuvo en el territorio antioqueño con 739.136 ha sin embargo, esta cobertura fue la que más causó cambios en el departamento de Antioquia, ya que su aumento hizo disminuir considerablemente, coberturas agrícolas en 429.200 ha bosques naturales en 127.369,90 y Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva en 101.119,03.

Para el caso de las plantaciones forestales, el departamento de Antioquia tuvo un aumento de 41.911 ha, del 2000 al 2017, aunque según la Unida de Planificación Rural y Agropecuaria - UPRA y el Ministerio de Agricultura, Antioquia tiene un potencial para plantaciones forestales en 2.751.715 ha de su territorio, esto indica que actualmente solo se está aprovechando un 1,5%, del potencial forestal. Entre las coberturas terrestres que de 2000 a 2017, cambiaron a plantaciones forestales se encuentran con 11.455 ha los pastos limpios y con 10.801 ha, los mosaicos de pastos con espacios naturales, esto indica una tendencia de sustitución de pastos por plantaciones forestales.

Luego de los mosaicos de pastos con espacios naturales, la siguiente cobertura que disminuyó en área fueron los mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales, los cuales presentaron una disminución de 441.048 ha, muchas de estas hectáreas cambiaron a pastos limpios (151.842 ha), vegetación secundaria y/o en transición (98.834 ha) y pastos enmalezados (79.384 ha).

Para el departamento de Antioquia, se identificó que el bosque denso en la zona de vida bh-MB presenta la mayor producción de biomasa aérea (295,1 ton/ha) y la mayor captura de CO₂ (147,5 Ton/ha), sin embargo, el bosque denso ubicado en la zona de vida bs-T, posee 717.780 ha más que el que se ubica en el bh-MB.

Con el fin de generar un insumo cartográfico que evidencie la distribución de la disminución de los servicios ecosistémicos en el departamento de Antioquia, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa la espacialización de la **Tabla 21** la cual expresa por subregión el servicio ecosistémico que disminuyó, representado en hectáreas de cobertura terrestre. Tanto en la **Tabla 21** como en la

Tabla 21. Disminución de SE asociados a hectáreas de cobertura terrestre

SUBREGIÓN	Disminución SE	Área (ha)
Bajo Cauca	Disminución SER BMA CO ₂	45.924,59
	Disminución SER Hídrica	33.335,15
	Disminución SEA Agrícola	28.246,68
Nordeste	Disminución SER BMA CO₂	59.817,17
	Disminución SER Hídrica	47.303,17
	Disminución SEA Agrícola	71.619,96
Oriente	Disminución SER Hídrica	36.891,87
	Disminución SER BMA CO ₂	11.703,21
	Disminución SEA Agrícola	14.358,94
Occidente	Disminución SER Hídrica	35.472,08
	Disminución SER BMA CO ₂	15.951,47
	Disminución SEA Agrícola	29.599,77
Norte	Disminución SER Hídrica	57.488,10
	Disminución SER BMA CO ₂	56.020,51
	Disminución SEA Agrícola	47.478,29
Magdalena Medio	Disminución SER Hídrica	15.186,41
	Disminución SER BMA CO ₂	26.818,04
	Disminución SEA Agrícola	27.928,33
Suroeste	Disminución SEA Agrícola	5.614,45
	Disminución SER BMA CO ₂	10.843,62
	Disminución SER Hídrica	42.918,43

Urabá	Disminución SEA Agrícola	53.972,38
	Disminución SER BMA CO2	43.533,44
	Disminución SER Hídrica	49.252,63
Valle de Aburrá	Disminución SEA Agrícola	2.087,22
	Disminución SER BMA CO2	1.814,54
	Disminución SER Hídrica	6.867,83

Fuente: Elaboración propia con base en los *shape* de coberturas terrestres de Antioquia año 2000 y 2017, SIAC, Gobernación de Antioquia (2017) y (CORANTIOQUIA, 2012)

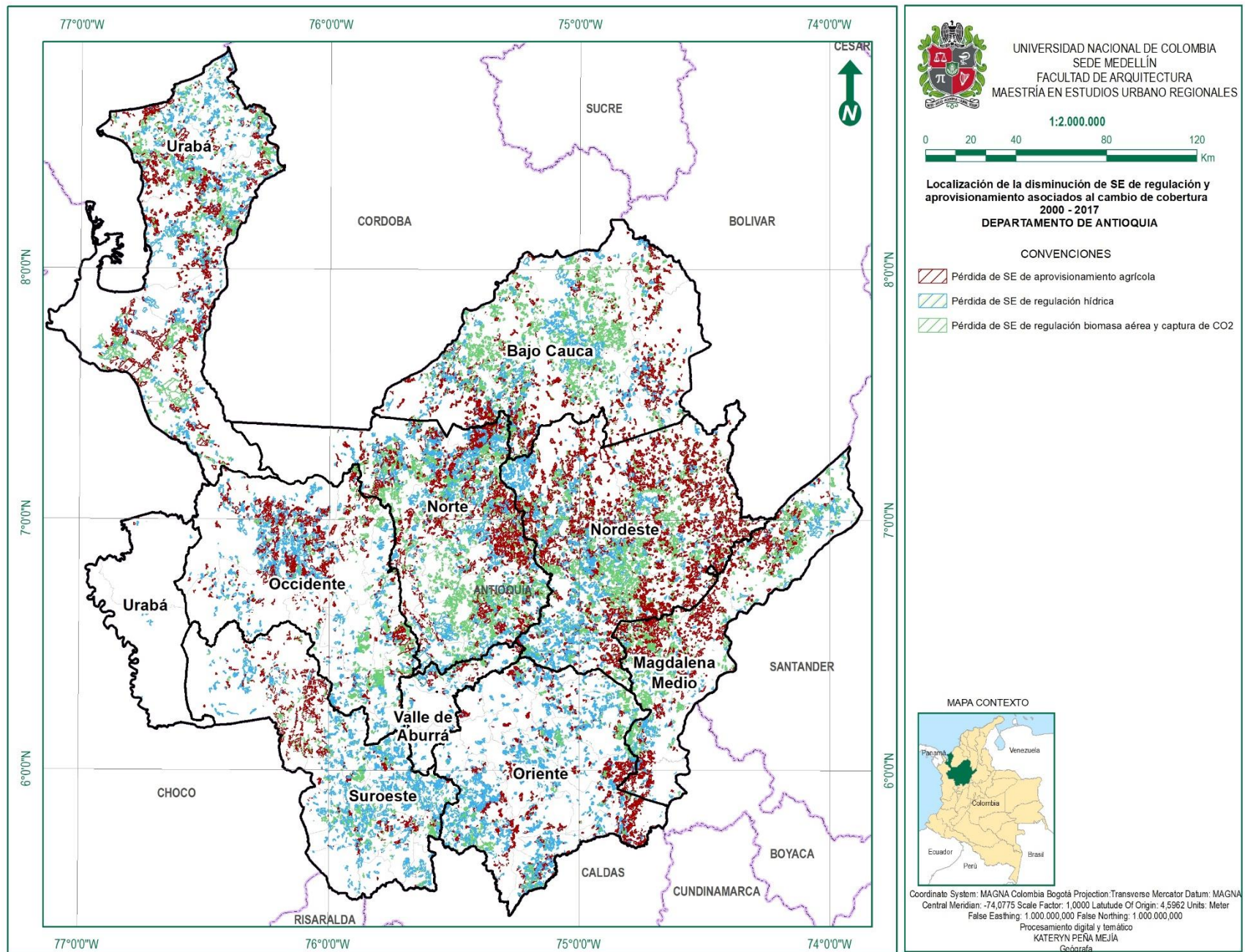


Figura 10. Disminución de SE asociada a coberturas terrestres en el departamento de Antioquia
Fuente: Elaboración propia con base en los *shape* de coberturas terrestres de Antioquia año 2000 y 2017, SIAC, Gobernación de Antioquia (2017) y (CORANTIOQUIA, 2012)

4. Discusión

La **Tabla 3** evidencia que el departamento de Antioquia posee dos tipos principales de coberturas terrestres: la primera son los bosques y áreas semi-naturales que representan el 49,98% del departamento, y la segunda que son los territorios agrícolas con un 45,92% del departamento. Sin embargo, para la primera el 36 % de esta área está compuesta por bosques naturales, y el 37,7 % de la segunda está compuesta por pastos, esto indica que las coberturas dominantes en el departamento de Antioquia son los pastos y los bosques.

El bosque denso según la **Tabla 9**, se redujo del año 2000 al 2017 en un 10,83%, lo cual marca una tasa de deforestación anual del 5,8 %, esto indica que si el bosque denso se sigue deforestando a este ritmo, para el año 2027, se habrían perdido 110.743 hectáreas más de bosque, las cuales comprendidas desde los servicios ecosistémicos de regulación, representarían 8.139,65 m menos de lámina de agua de drenaje profundo para todo el departamento, y de ser deforestadas en la zona de vida de bosque húmedo montano bajo, se perdería un aproximado de 32.680.448 toneladas de biomasa aérea y 16.334.686 toneladas de captura de CO₂.

En la **Tabla 9**, el bosque plantado aumentó de 2000 a 2017 en un 116 %, lo cual quiere decir que duplicó su área en 17 años, estas plantaciones no alcanzan a suplir los servicios ecosistémicos de regulación que se dejaron de producir por la disminución de la cobertura de bosque denso, ya que el bosque plantado incrementa 179,8 Ton/ha de biomasa aérea y captura 89,9 Ton/ha de CO₂, lo cual

se encuentra lejos de ser equivalente con las captaciones de los bosques naturales según su zona de vida como se evidencia en la **Tabla 17**.

De acuerdo a las variaciones presentadas en la **Tabla 9**, se pone en evidencia que la cobertura terrestre que presentó mayor aumento del 2000 al 2017 fueron los pastos limpios, los cuales presentaron una tasa de crecimiento anual del 5,8%; esto indica que de seguir así en 10 años Antioquia podría poseer 238.187 ha más de pastos, lo cual supone que el servicio ecosistémico de aprovisionamiento de alimento aumentó, ya que en esta área se podrían tener hasta 428.736 vacas lecheras o 952.748 cabezas de ganado o 1.190.935 cabezas de ganado tecnificado.

Aunque se está hablando del incremento de un servicio ecosistémico de aprovisionamiento, que se encuentra con una oferta mayor a su demanda hay que tomar en cuenta que el aumento de los pastos limpios trae consigo la transformación de otras coberturas importantes para los servicios ecosistémicos de regulación, como los bosques y vegetación secundaria que de ser reemplazadas abruptamente perjudica directamente el medio ambiente del departamento, también trae una afectación directamente de otros servicios de aprovisionamiento como los alimentos de producción agrícola, desestabilizando las dinámicas rurales de gran variedad de territorios, con repercusiones en entornos urbanos a causa del desabastecimiento de productos agrícolas.

Es necesario resaltar que según la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y la **Tabla 11**, las coberturas más afectadas por el cambio a pastos limpios fueron los mosaicos de pastos con espacios naturales, los mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales, bosque denso, mosaico de pastos y cultivos y el bosque fragmentado.

En la **Tabla 11**, se muestran los grandes cambios que han sufrido los diferentes tipos de mosaicos desde el año 2000, estos cambios dan cuenta de una

expansión agrícola, ya que muchos de estos mosaicos que hace 17 años poseían espacios naturales, han cambiado a mosaicos de pastos y cultivos, y algunos más extremos han cambiado directamente a pastos limpios o pastos enmalezados, la ubicación de los cambios más significativos se pueden observar en la **Figura 9** (mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales a pastos =151.842 ha, Mosaico de pastos con espacios naturales a pastos limpios = 204.864 ha, y mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales a pastos enmalezados, 79.384 ha), esto denota una presión de los pastos sobre aquellos fragmentos de bosques y vegetación secundaria natural que se encuentra al interior de tierras agrícolas, y que cumplen funciones importantes de regulación para la producción del servicio ecosistémico de aprovisionamiento de alimentos.

Lo anterior reafirma que no solo las coberturas de soporte están siendo afectadas por la expansión de los pastos limpios, aquellas coberturas que poseen mosaicos y espacios naturales las cuales aportan a otros servicios ecosistémicos también están siendo alteradas, generando así problemáticas no solo de aprovisionamiento sino también de carácter cultural y paisajísticas, al transformar lugares con dinámicas turísticas y culturales propias de la región.

Lo mencionado anteriormente pone en evidencia una problemática latente en materia de degradación de suelos, ya que la ganadería intensiva aumenta la compactación de los suelos, lo cual es un daño irreparable en la porosidad del suelo, afectando directamente propiedades hidrológicas del suelo necesarias para la agricultura y el adecuado ciclo hidrológico, lo anterior también promueve la acumulación de agua superficial que deteriora considerablemente los horizontes del suelo, logrando que cada vez sea más difícil el cambio a otro tipo de uso.

Es claro que varios factores socioeconómicos promueven el uso inadecuado del suelo, sin embargo, es importante indagar más en la caracterización de factores concretos que den cuenta de la promoción de la deforestación en Antioquia, la obtención de este tipo de información, complementa los insumos que son útiles en

la formulación y posterior ejecución del ordenamiento territorial a nivel nacional, departamental y municipal. Es recomendable hacer un seguimiento de control por parte del estado a todos los procesos que fomenten el uso inadecuado del suelo, pero para esto debe haber precisión en los estudios de suelos del departamento de Antioquia, con rigurosas actualizaciones que den cuenta del efecto de los cambios en el suelo, efecto de la dinámica del cambio de cobertura terrestre.

La escala a la cual se trabajó la información fue 1:100.000 lo cual es acorde para un análisis departamental, además toda la clasificación se encuentra en Corine Land Cover Colombia 2010 y posee hasta el nivel 3 de detalle, lo cual hizo posible un aproximado adecuado de la variación por cobertura. A pesar de que la escala de trabajo fue adecuada, se hace necesario advertir que, para aplicar este tipo de estudios a escalas municipales, se debe agregar bajo la metodología de clasificación Corine Land Cover un cuarto nivel de clasificación, esto con el fin de caracterizar el territorio con mayor precisión cartográfica.

A nivel municipal es importante un levantamiento de coberturas que mejore la resolución cartográfica y genere mejores estrategias de ordenamiento territorial a escala más local. El refinamiento cartográfico debe estar acompañado de la equivalencia del servicio ecosistémico analizado, esto se recomienda promover desde la institucionalidad los estudios que relacionen la producción de servicios ecosistémicos con las coberturas terrestres, para tener una lectura más dinámica del territorio y evidenciar los impactos ambientales a los que se enfrenta el departamento de Antioquia.

Con el aumento de las categorías de Corine Land Cover Colombia, habría mejores aproximaciones para la caracterización de la cobertura terrestre y los usos del suelo. Además de aumentar las investigaciones básicas de la producción de cada servicio ecosistémico, específico según la región biogeográfica donde se ubique, agregando la caracterización del suelo y el clima que posee, se podrá llegar

hasta un quinto nivel de clasificación, que al ser trasladado al ejercicio de un Plan de Ordenamiento Territorial Municipal, aportaría no solo a un buen ejercicio de planeación, sino que también impulsaría la visión de una escala más detallada para un país como Colombia, que aun maneja escalas cartográficas muy generales que no permiten visualizar, sus verdaderos problemas en materia de ordenamiento territorial.

5. Conclusiones y recomendaciones

- Con base en la diferencia, de la variación de la cobertura de bosque denso, se pudo determinar que la tasa de deforestación del año 2000 al 2017 es de 5,8%, una tasa de deforestación muy alta. Sin embargo, la categoría de bosque fragmentado, aumentó en el mismo periodo de tiempo con una tasa del 5,8%, y si se considera a la cobertura de bosque fragmentado como un bosque en detrimento, en realidad la tasa de pérdida de bosque natural ascendería a 11,6%, esto sin contar otras variaciones desfavorables para el bosque, e inconsistencias en transformaciones que no se deberían dar, de forma natural, en un periodo de 17 años; lo anterior da cuenta de los vacíos que genera la metodología de clasificación Corine Land Cover adaptada para Colombia 2010, la cual no es la más adecuada para los ejercicios de planeación y ordenamiento territorial a escalas locales, no por lo menos sin considerar una modificación más adecuada para el territorio colombiano.

Se recomienda el ahondar en el reconocimiento de los factores socio-económicos que promueven la deforestación en el departamento de Antioquia, acompañado del desarrollo de políticas públicas que promuevan la reducción de la deforestación.

- Tener un sistema de clasificación de coberturas que aún necesita procesos de refinamiento, trae consigo serias dificultades al momento de homologar la cobertura terrestre con los diferentes servicios ecosistémicos, lo anterior deriva en la dificultad para calcular la producción de cualquier servicio ecosistémico, a mayor precisión de la caracterización de la cobertura terrestre, serán más precisas las homologaciones a servicios ecosistémicos y esto posiblemente mejorará el cálculo de los volúmenes de producción de servicios ecosistémicos y su ubicación, lo cual aportaría al ordenamiento territorial colombiano una base útil, para la formulación e implementación de proyectos económicos y medioambientales que promuevan un funcionamiento territorial adecuado con base en las actividades de su población.

Se recomienda aumentar los niveles de caracterización del Corine Land Cover Colombia, que denoten problemáticas a nivel local, y refinar la conceptualización e investigaciones asociadas a los servicios ecosistémicos en relación con las coberturas terrestres a nivel local.

- Los insumos cartográficos analizados de forma multi-temporal más los estudios de homologación de servicios ecosistémicos con coberturas terrestres, juegan un papel fundamental en la planificación y el ordenamiento territorial; el tipo de escala que se emplea para la caracterización de los usos del suelo para un municipio, no debe ser la misma que se emplea para una caracterización a nivel departamental o nacional, el territorio debe ser analizado con precisión en lo local, para promover un buen ejercicio de generalización departamental y posteriormente nacional, que evidencie escenarios pasados presente y futuros que contribuyan al funcionamiento territorial.

Se recomienda incluir el análisis de la producción de servicios ecosistémicos en relación con las coberturas terrestres para décadas anteriores al diagnóstico y formulación de ejercicios de ordenamiento territorial.

6. Bibliografía

- Asamblea Constituyente de Antioquia. (2003). *El desarrollo local y regional para Antioquia propuesta estratégica. Plan Estratégico de Antioquia - PLEANE*. Medellín: Gobernación de Antioquia.
- Balvanera, P., & Helena, C. (2007). Acercamiento al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta Ecológica*(84 - 85), 8 - 15.
- Brown, S. (1997). *Estimating biomass and biomass change of tropical forests*. Illinois, USA: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Camacho, V., & Ruiz, L. (2012). Conceptual framework and classification of ecosystem service. *Bio Ciencias*, 1(4), 3-15.
- Castells, X. (2005). *Tratamiento y valorización energética de residuos*. España: Fundación Universitaria Latinoamericana .
- CEPAL, C. E. (2016). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Organización de las Naciones Unidas.
- Comisión TRIPARTITA. (2008). *Lineamientos de Ordenación Territorial para Antioquia LOTA (Fase I). Propuesta pública para discusión*. Medellín, Colombia: Gobernación de Antioquia, Alcaldía de Medellín, Área Metropolitana del Valle de Aburrá - AMVA.
- Comisión TRIPARTITA. (2012). *Lineamientos de Ordenación Territorial para Antioquia - LOTA (Fase II). Construyendo juntos acuerdos territoriales*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

-
- CONPES, C. N. (2018). *ESTRATEGIA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS) EN COLOMBIA*, Acuerdo 3918. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación - DNP.
- CORANTIOQUIA. (2012). *VALORACION ECONÓMICA, ECOLÓGICA Y SOCIO – CULTURAL DE BIENES Y SERVICIOS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RÍO GRANDE*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia .
- Daily, G. (1997). INTRODUCTION: WHAT ARE ECOSYSTEM SERVICES? En G. Daily, *Nature's Services, societal dependence on natural Ecosystem* (pág. 375). Washington DC: Island Press.
- DANE, D. A. (2013). *División Político Administrativa - Geoportal*. Recuperado el 1 de septiembre de 2018, de geoportal.dane.gov.co:8084/Divipola
- DAP. (1997). *PLAN DE DESARROLLO PRIMERO ANTIOQUIA 1995 - 1997*. Medellín: Gobernación de Antioquia, Departamento Administrativo de Planeación.
- DELMILENIO, E. D. (2 de agosto de 2018). *Organización de la Naciones Unidas*. Obtenido de [HTTP://www. millenniumassessment.org/es/About.html#1](http://www.millenniumassessment.org/es/About.html#1)
- Dominguez, E., Rivera, H., & Vanegas, R. (2008). RELACIONES DEMANDA-OFFERTA DE AGUA Y EL ÍNDICE DE ESCASEZ DE AGUA COMO HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO COLOMBIANO. *Revista Académica Colombiana de Ciencias* , 195 - 212.
- Escusa, C. (31 de abril de 2016). *Mans Unides, ONG contra la pobreza en el mundo*. Obtenido de <https://mansunides.org/es/tratado-de-kioto>
- Espinal, L. S. (1985). Geografía Ecológica del Departamento de Antioquia, zonas de vida (formaciones, vegetales) del departamento. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 5-106.
- European Commission. (2002). *Corine land cover update 2000, technical guidelines*. Copenhagen: European Environment Agency. Obtenido de <https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/techrep89.pdf>

- Franco, L. (7 de septiembre de 2010). Servicios ecosistémicos, bases conceptuales. *Insumo para la estructuración del Plan de Investigación y Monitoreo del Sinap en el tema de servicios ecosistémicos*. Bogotá, Cundinamarca, Colombia: Fundación Natura.
- Gaviria, Z., & Arango, E. (2007). *Dimensión de Ordenamiento Territorial en el Plan Estratégico de Antioquia - PLANEA. Modelo de ocupación territorial, iniciativa de proyectos estratégicos*. Antioquia, Colombia.
- Gobernación de Antioquia. (2017). Plan de Ordenamiento Territorial de Antioquia POTA. Medellín, Antioquia, Colombia. Obtenido de Coberturas terrestres de Antioquia.
- Gómez, D., & Beltrán, J. (2018). MODELACIÓN DINÁMICA DE BIENES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA RESERVA FORESTAL PRODUCTORA THOMAS VAN DER HAMMEN. *Colombia FORESTAL*, 188-204.
- IDEAM. (1996). *Memoria técnica explicativa del mapa de coberturas vegetales, uso y ocupación del espacio en Colombia*. Bogotá: IDEAM.
- IDEAM. (1998). *Estudio Nacional del Agua- ENA*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.
- IDEAM. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IGAC. (2007). *Características Geográficas de Antioquia* (319 ed.). Medellín, Colombia: Instituto para el Desarrollo de Antioquia, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Gobernación de Antioquia.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. (2014). *INFORME FINAL COMPONENTE COBERTURAS DE LA TIERRA EN LOS PÁRAMOS PRIORIZADOS A ESCALA 1:25.000 (METODOLOGÍA CORINE LAND COVER ADAPTADA PARA COLOMBIA)*. Bogotá: IDEAM.

-
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: A framework for assessment*. Washington D.C.: Island Press.
- MinAmbente. (2016). *POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LA BIODIVERSIDAD Y SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS (PNGIBSE)*. Bogotá: MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Instituto de Investigación y Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. (2017). *Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos en la Planificación y Gestión Ambiental Urbana*. Bogotá, Colombia.
- Mota, C., Alcarás, C., Iglesias, M., Martínez, M., & Carvajal, M. (2010). *Investigación sobre la absorción de CO₂ por los cultivos mas representativos de la región de Murcia*. Murcia: Consejo Superior de Investigaciones Científicas - CEBAS. Obtenido de http://www.lesco2.es/pdfs/noticias/ponencia_cisc_espanol.pdf
- Muñoz, R., & Ritter, A. (2005). *Hidrología Agroforestal*. Canarias : Dirección General de Universidades e Investigación.
- Murray, I. (2005). Los cambios en la cobertura de la tierra, una revision bibliográfica desde la geografía. (U. d. Barcelona, Ed.) *Revista bibliográfica de geografía y ciencias sociales (Serie documental de Geo Crítica)*, X(571).
- Parresol, B. (1999). Assessing Tree and stand biomass: A review with examples and critical comprisons. *Society of American Foresters*, 573-593.
- PENUD, P. d. (2015). *Objetivos de Desarrollo del Milenio - ODM*. Organización de las Naciones Unidas - ONU.
- Phillips, J., Duque, A., Cabrera, K., Yepes, A., Navarrete, D., García, M., . . . Vargas, D. (2005). *Estimación de las reservas potenciales de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM.

- Poveda, G. (2016). *Clima de Antioquia*. Medellín: Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Universidad Nacional de Colombia - sede Medellín, Facultad de Minas.
- República de Colombia. (1991). *Constitución Política de Colombia*. Colombia: Rama Judicial .
- Rodriguez, M. (2015). *¿Para dónde va el río Magdalena? Riesgos sociales, ambientales y económicos del proyecto de navegabilidad*. Bogotá: Friedrich-Ebert-Stiftung en Colombia (Fescol).
- Romero, M., Castillo, S., Meave, J., & Van Der Wal, H. (2000). ANÁLISIS FLORÍSTICO DE LA VEGETACIÓN SECUNDARIA DERIVADA DE LA SELVA HÚMEDA DE MONTAÑA DE SANTA CRUZ TEPETOTUTLA (ÜAXACA), MÉXICO . *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 89-106.
- Sachs, J. (2014). *La era del desarrollo sostenible*. Nueva York: Centro Libros PAPP.
- Sanchez, G. (2002). Desarrollo y medio ambiente: una mirada a Colombia. *Economía y Desarrollo*, 1(1), 79-98.
- Sanchez, J., Yanine, D., Mantilla, G., Toro, M., & Barbosa, C. (2001). Usos de la tierra en Colombia. En IDEAM, & M. D. AMBIENTE, *EL MEDIO AMBIENTE EN COLOMBIA* (págs. 349-379). Bogotá: IDEAM.
- Schlegel, B. (2001). *ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA Y CARBONO EN BOSQUES DEL TIPO FORESTAL SIEMPREVERDE*. Universidad Austral de Chile. Valdivia: Simposio internacional de medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales.
- Swetnam, R., Fisher, B., Mbilinyi, B., Munishi, P., Willcock, S., Ricketts, T., . . . Lewis, S. (2010). Mapping socio-economic scenarios of land cover change: A GIS method to enable ecosystem service modelling. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 563 - 574.

Toro, J. L. (2009). *Estado del conocimiento de la flora silvestre en la jurisdicción de Corantioquia*. Medellín: CORANTIOQUIA.

Vásquez, L., & Matallana, C. (2016). Identificación de los servicios ecosistémicos que proveen las diferentes áreas protegidas en la Orinoquia colombiana. *BIODIVERSIDAD EN LA PRACTICA*, documento de trabajo del Instituto Humboldt, 1(1), 77-127.

Williams, J. (2001). *Australia Informe sobre el estado del medio ambiente 2001*. Canberra: Publicado por CSIRO en nombre del Departamento de Medio Ambiente y Patrimonio.