



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Huella de carbono en el Valle de Aburrá.

Trabajo Final presentado como requisito parcial para optar por el título de:
Magíster en Estudios Urbano-Regionales
Medellín, Colombia

Leidy Johanna Arroyave Suárez
Ingeniera Forestal

Asesor:
Luís Carlos Agudelo Patiño
Doctor en Territorio, Urbanismo y Sostenibilidad – Universidad Politécnica de
Valencia
Profesor de la Escuela de Planeación Urbano–Regional

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Arquitectura
Escuela de Planeación Urbano Regional
Medellín, Colombia
2017

Por ti Martín.

Agradecimientos

A mi maestro Luis Carlos Agudelo Patiño, por su inmensa generosidad, su gran vocación por la docencia y por su confianza al haberme hecho partícipe de uno de los temas de investigación que más le apasionaron: La sostenibilidad ecológica de los territorios.

A la Escuela de Planeación Urbano Regional y a la corporación autónoma regional del centro de Antioquia- Corantioquia, por mi participación con los resultados de este estudio en la tercera actualización de la medición de huella ecológica en el valle de Aburrá.

Finalmente, y muy importante mi gratitud infinita con Dios, agradezco además el apoyo y el amor incondicional de mi familia y el ánimo constante de mis amigos durante la realización de este estudio.

Resumen

Este trabajo presenta la huella de carbono del valle de Aburrá y el papel de las coberturas terrestres frente al servicio ecosistémico de captación de carbono. En este sentido se realiza una revisión conceptual sobre los gases de efecto invernadero, las metodologías para su medición, posteriormente se calcula la huella de carbono para el valle de Aburrá y el balance emisiones /cobertura. Finalmente se hace una revisión sobre los mecanismos de compensación para la mitigación de los efectos de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, concluyendo sobre los mecanismos de compensación enfocados en la gestión del territorio.

Abstract

This paper presents the carbon footprint in the *Aburrá* valley, and the role of land cover against the ecosystem service of carbon capture. In this sense, a conceptual review on greenhouse gases, methodologies for their measurement, a carbon footprint in the *Aburrá* valley and the balance of emissions / land cover is calculated. Finally, a review is made on the compensation mechanisms for the mitigation of the effects of greenhouse gases in the atmosphere, concluding on compensation mechanisms focused on the territorial management.

Tabla de Contenido

1	Presentación.....	11
2	Efecto invernadero: gases y sus efectos.....	12
3	Como se miden las emisiones: Metodología IPCC	15
4	Sumideros de carbono.....	20
4.1	Tipos de sumideros.....	20
4.1.1	Sumideros naturales	20
4.1.2	Sumideros artificiales	25
5	Huella de carbono.....	28
5.1	Balance de emisiones/El papel de las coberturas.....	32
6	Emisiones de gases efecto invernadero en el valle de Aburrá.....	35
6.1	Área de Estudio: El valle de Aburrá	35
6.1.1	Departamento de Antioquia.....	36
6.1.2	Valle de Aburrá.	42
6.2	Emisiones de gases efecto invernadero en el área Metropolitana del valle de Aburrá	45
6.2.1	Emisiones en el Sector AFOLU.....	46
6.2.2	Emisiones en el Sector Residuos.....	47
6.2.3	Emisiones Sector Procesos Industriales y Uso de Productos	48
6.2.4	Emisiones del Sector Energía	49
7	METODOLOGÍA.....	51
7.1	Cálculo de la tasa de absorción del Dióxido de Carbono (CO ₂).....	51
7.2	Cálculo de la huella de carbono	54
7.3	Balance de emisiones/ coberturas	55
8	Tasas de absorción del Dióxido de Carbono (CO ₂) como gas de efecto invernadero por tipo de cobertura terrestre en el departamento de Antioquia para el año base 2007.....	56
9	Balance de emisiones/coberturas para el Valle de Aburra para el año 2007.	61

Huella de carbono en el valle de Aburrá

9.1.1	Balance de emisiones (CO ₂) /cobertura en el valle de Aburrá- Unidad de análisis subregiones de Antioquia.....	61
10	huella de carbono para el valle de Aburrá en el año 2007.....	64
11	Mecanismos de compensación para mitigar los efectos del CO ₂ en la atmosfera. 65	
12	Conclusiones.....	71
	Anexo 1. Emisiones GEI en el valle de Aburrá.....	72
	Anexo 2. Resultados Captura de Carbono por subregión en el departamento de Antioquia	78
13	Bibliografía	81

Lista de Tablas

Tabla 1 Huella de carbono per cápita por país. (Toneladas / per cápita).....	30
Tabla 2. Resumen Emisiones GEI (valores en Gg de CO ₂ equivalente) y precursores (Gg) para los años 2009 y 2011, por sector en el valle de Aburrá.....	50
Tabla 3. Contenido de biomasa aérea y carbono (Ton/ha) por coberturas.....	53
Tabla 4. Coberturas terrestres de acuerdo a la clasificación del IPPC en el departamento de Antioquia.....	58
Tabla 5. Absorción de Carbono y CO ₂ por subregiones en el departamento de Antioquia	60
Tabla 6. Balance de emisiones (CO ₂) para el Valle de Aburrá y el aporte de las subregiones de Antioquia en la absorción de las emisiones.	62
Tabla 7: Huella de carbono en el valle de Aburrá- Año 2007	64
Tabla 8. Emisiones (signo positivo) y absorciones (signo negativo) de GEI (Gg) y precursores de GEI provenientes del sector AFOLU en el Valle de Aburrá en 2009 y 2011.	72
Tabla 9. Emisiones de GEI del Sector Residuos en CO ₂ equivalente para el 2009 y 2011.	74
Tabla 10. Emisiones de GEI del sector “Procesos industriales y uso de productos” en giga gramos (Gg) para el 2011.	75
Tabla 11. Resumen de las emisiones del sector energía	76
Tabla 12. Emisiones de GEI asociadas al transporte terrestre en el Valle de Aburrá.....	76
Tabla 13. Emisiones en fuentes estacionarias en el valle de Aburrá años 2009 y 2011 ...	77
Tabla 14.. Captura de carbono y CO ₂ para el año 2007 en el departamento de Antioquia.	78

Lista de Figuras

Figura 1.Cambio climático y efecto invernadero	13
Figura 2.Grupos IPPC para estudios de emisiones y absorciones.	17
Figura 3.Categorías y subcategorías de acuerdo a grupos de análisis inventario de emisiones IPP.....	18
Figura 4.Esquema de aplicación metodológica para los inventarios GEI.....	19
Figura 5.Ciclo del carbono.....	21
Figura 6.Superficie ocupada por las principales clases de uso de la tierra para el año 2010	22
Figura 7. Fotosíntesis y captación de CO ₂	23
Figura 8: Proceso de captación de CO ₂ por el océano	24
Figura 9. Almacenamiento oceánico.....	25
Figura 10.Almacenamiento geológico.....	26
Figura 11.Proceso de carbonatación mineral	27
Figura 12 Huella de Carbono- análisis Scopus 1993-2017	29
Figura 13. Emisiones de CO ₂ percapita para el año 2013.	31
Figura 14. Localización área de estudio	35
Figura 15. Localización del valle de Aburrá	43
Figura 16. Imagen Landsat del valle de Aburrá	44
Figura 17.Inventario GEI sector AFOLU Medellín.....	46
Figura 18. Reclasificación mapa coberturas CLC de acuerdo a categorías IPCC	51
Figura 19.Mapa de Coberturas terrestres categorías IPCC.....	52
Figura 20. Unidades de masa usadas en los inventarios de gases de efecto invernadero.....	54
Figura 21 Almacenamiento de Carbono por coberturas en el departamento de Antioquia.	57
Figura 22.Balance emisiones /cobertura.....	63

1 PRESENTACIÓN

La huella de carbono hace referencia a los gases de efecto invernadero (GEI) emitidos en la producción de bienes y servicios, en donde los consumidores finales de estos servicios son los hogares, la industria, los gobiernos entre otros. (Hertwich E; G 2009). Este trabajo presenta la huella de carbono del valle de Aburrá y el papel de las coberturas terrestres frente al servicio ecosistémico de captación de carbono: La transformación y pérdida de ecosistemas y hábitats, está catalogado como uno de los principales impulsores hacia la pérdida de la biodiversidad. Los cambios de cobertura constituyen uno de los principales motores del cambio global por sus efectos en el clima, los procesos ecosistémicos, los ciclos biogeoquímicos y la biodiversidad (Vitousek et al., 1997). En este sentido la pérdida de coberturas terrestres tiene un impacto que no solo afecta el potencial de las mismas como sumideros de carbono, sino que también aumentaría la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

Las acciones para enfrentar los efectos de los gases de efecto invernadero sobre la atmósfera, incluyen políticas para la disminución y captación de las emisiones de gases de efecto invernadero- GEI. El manejo y conservación de ecosistemas que prestan servicios ambientales de regulación, es trascendental para la mitigación sobre el cambio climático, en este sentido el enfoque territorial frente a las estrategias de conservación ambiental tradicionales, tiene mayores ventajas : reconoce el dúo ecosistema-sociedad conservando, no solo los ecosistemas como base geográfica del territorio sino el territorio propiamente dicho, desde sus dimensiones sociales, culturales, políticas, económicas y ambientales.

2 EFECTO INVERNADERO: GASES Y SUS EFECTOS.

Los estudios científicos sobre el cambio climático comenzaron a principios del siglo XIX, cuando se empezaron a tener los primeros indicios de cambios naturales en el clima y se identificó por primera vez el efecto invernadero natural. Posteriormente entre los años de 1950-y 1980, se recopilaron datos que demostraron que las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera estaban aumentando muy rápidamente. (CMCC, 2017), llegando entonces a una conclusión: El cambio climático, que de acuerdo también con la Convención Marco sobre Cambio Climático (CMCC), se entiende como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables. Por otro lado, el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) define el cambio climático como cualquier cambio en el clima con el tiempo, debido a la variabilidad natural o como resultado de actividades humanas. (IDEAM, 2007)

Los gases emitidos por algunas actividades humanas, conocidos como Gases de Efecto Invernadero – GEI, son: el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O), el metano (CH_4), Hexafloruro de azufre (SF_6) algunos halocarbonos ¹ (como los CFCs², HCFCs³, HFCs⁴ y los PFCs⁵), el ozono troposférico (el cual se forma a partir del monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y otros compuestos orgánicos volátiles). Tienen un efecto sobre el cambio del clima a través del tiempo.

Las moléculas de los GEI, tienen la capacidad de absorber y reemitir las radiaciones de onda larga (esta es la radiación infrarroja, la cual, es eminentemente térmica) que provienen del sol y la que refleja la superficie de la Tierra hacia el espacio, controlando el flujo de energía natural a través del sistema climático. El clima debe, de algún modo,

¹ Halocarbonos: Compuestos que contienen cloro, bromo o flúor y carbono. Éstos actúan como potentes gases de efecto invernadero en la atmósfera

² CFCs: Cloroflurucarbonos

³ HCFCs: Hidrofluorocarburos

⁴ HCFs: Fluorocarbonos

⁵ PFCs : Perfluororcarburos

ajustarse a los incrementos en las concentraciones de los GEI, que generan aumentos de la radiación infrarroja, que es absorbida por los GEI en la capa inferior de la atmósfera (la tropósfera), con el fin de mantener el balance energético de la misma. Este ajuste genera cambios climáticos que se manifiestan en un aumento de la temperatura global (referido como calentamiento global) ,que genera un aumento en el nivel del mar, cambios en los regímenes de precipitación y en la frecuencia e intensidad de los eventos climáticos extremos (tales como tormentas, huracanes, fenómenos del Niño y la Niña). (IDEAM, 2007).

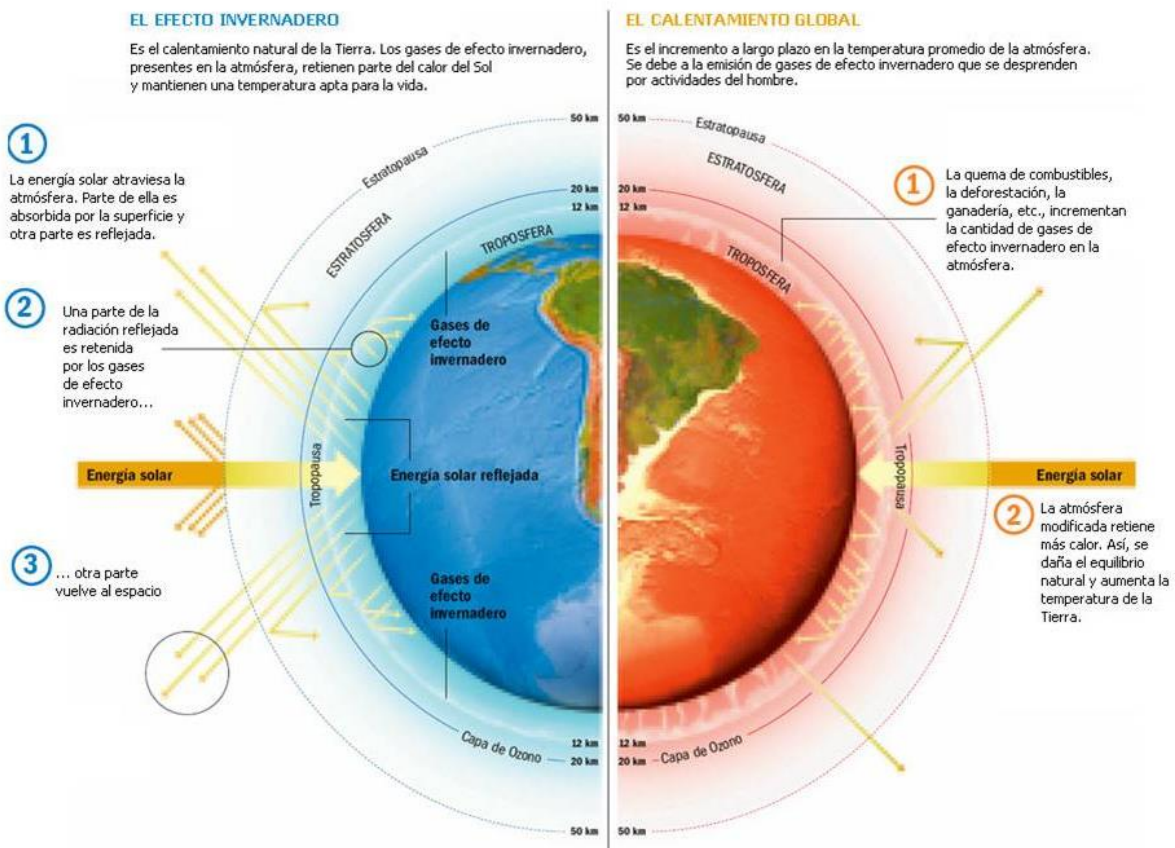


Figura 1. Cambio climático y efecto invernadero
Fuente: IDEAM (2004).

La pérdida de cobertura vegetal, en especial los bosques y la vegetación de tipo leñoso, produce emisiones de GEI y por tanto menores tasas de absorción de GEI a través del

tiempo, por tanto, en los territorios con pérdidas de estos tipos de ecosistemas, la transformación de los ecosistemas, tiene una alta incidencia como motor de perturbación hacia el cambio climático global.

Se hace prioritario para los territorios, no solo tener inventarios actualizados de GEI, sino además relacionar los mismos, con los ecosistemas que conforman la base natural de estos territorios, con el fin de generar estrategias de mitigación al cambio climático, que converjan hacia la reducción de emisiones y hacia un incremento en las tasas de absorción de los GEI, que solo es viable mediante la conservación e incremento de coberturas vegetales con altas tasas de absorción.

3 COMO SE MIDEN LAS EMISIONES: METODOLOGÍA IPCC

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), fue establecido por el *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente* (PNUMA) y la *Organización Meteorológica Mundial* (OMM) en el año 1998; ya para el año 1990 el IPCC publicó el primer informe de evaluación, que comprendía tres grupos de trabajo: Cambio climático, Evaluación de Impactos y Responsabilidades y Estrategias. Después de este primer informe, La Asamblea General de las Naciones Unidas establece la *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (CMNUCC), la cual fue adoptada en Nueva York el 9 de mayo de 1992 y entró en vigor el 21 de marzo de 1994. La CMNUCC, tiene como objetivo general: “Lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático y en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurando que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitiendo que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible” (ONU, 1992)

En el año 1995, El IPCC publicó el segundo informe de evaluación sobre los mismos tres grupos de trabajo referidos anteriormente: Cambio climático, Impactos Adaptaciones y Mitigación de Cambio Climático y Dimensión Social y Económica del Cambio Climático y en el año 1996, Se publicaron las primeras directrices para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero; Posterior a estas publicaciones entra en vigencia el Protocolo de *Kyoto* de la CMNUCC. El protocolo de *Kyoto*, tiene compromisos vinculantes de reducción de emisiones GEI, para 37 países industrializados y toda la Unión Europea, lo que llevo a estos países a reconocerse como los principales responsables de los elevados niveles de emisiones de GEI que hay actualmente en la atmósfera, y que son el resultado de la quema de fósiles combustibles durante más de 150 años. (ONU, 1998).

Para el año 2006 - El IPCC, publica una nueva versión de directrices para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, la cual está aún vigente en conjunto con dos suplementos metodológicos del año 2013: el suplemento para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero dedicado a los humedales y el suplemento de Métodos complementarios y orientación sobre las buenas prácticas que emanan del Protocolo de *Kyoto*.

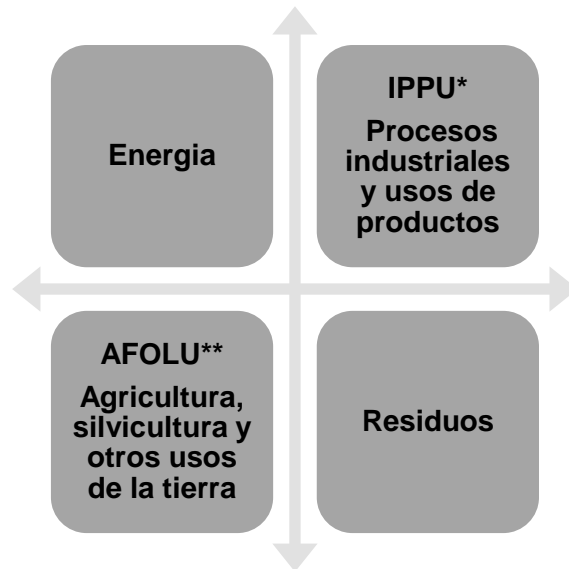
En los años, 2007 el IPCC publicó el cuarto informe de evaluación, y compartió el nobel de paz por los avances alcanzados en el conocimiento del cambio climático y sentar las bases para contrarrestar el cambio, en el año 2011 se hacen unas publicaciones especiales, que incluyen un documento especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático, elaborado por el Grupo de trabajo III, el Informe especial sobre la gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático, elaborado por los grupos de trabajo II y I.; Para 2013, se publica el quinto informe que incluye el documento : Cambio climático bases físicas., el quinto informe concluye en 2014 con los documentos : Cambio climático, impactos, vulnerabilidad y adaptación y Mitigación del cambio climático (IPCC, 2015). Posterior a esta publicaciones se celebró el Acuerdo de Paris, para Diciembre de 2015, casi todos los países del mundo (195) con excepción a Siria y Nicaragua, firmaron el primer pacto global, que tiene como objeto reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, que contribuyen a el cambio climático global-

Finalmente, y de acuerdo con la última convención celebrada por IPCC en abril de 2016, el Sexto Informe de Evaluación del cambio climático realizarse por el IPCC, estará listo para el año 2022, esta fecha coincide con la entrega del primer balance mundial de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático -CMNUCC. (IPCC, 2017).

La última metodología vigente para medición de GEI, es la del IPCC publicada en el año 2006. Las directrices para la medición de los gases efectos invernaderos incluyen metodologías para estimar las emisiones directas de CO₂, CH₄, N₂O, HFC, SF₆ y PFC

generadas por actividades humanas que emiten estos GEI en diferentes sectores económicos de un territorio.

Las metodologías agrupan las emisiones y absorciones en cuatro grandes grupos (Figura 2)



*IPPU: Siglas en inglés para procesos industriales y usos de productos

** AFOLU: Siglas en inglés para agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra.

Figura 2. Grupos IPCC para estudios de emisiones y absorciones.

Fuente: Elaboración propia a partir de la Metodología para emisiones y absorciones IPCC 2006.

Cada grupo de análisis del IPCC, tiene categorías y subcategorías. Los inventarios nacionales o locales de gases de efecto invernadero, deben contener un análisis de todas las categorías y subcategorías(

Figura 3.)

Huella de carbono en el Valle de Aburrá

coggle
made for free at coggle.it

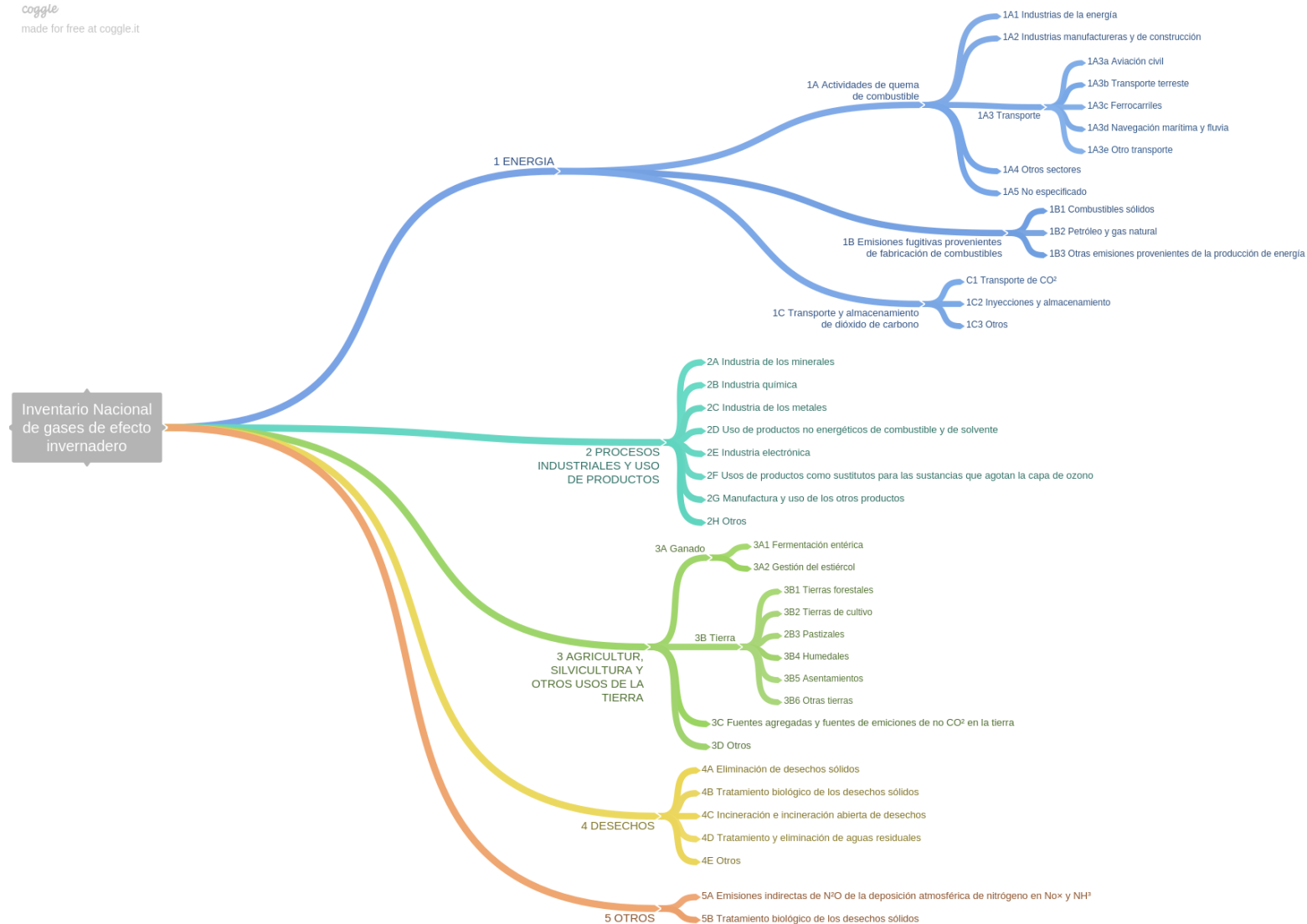


Figura 3. Categorías y subcategorías de acuerdo con grupos de análisis inventario de emisiones IPPC

Fuente: Elaboración propia

El cálculo de emisiones de GEI bajo las directrices del IPCC se basa en factores de actividad: que corresponden al tamaño de la actividad que genera la emisión y en factores de emisión: Es un valor que representa la cantidad de gas emitido a la atmosfera con el dato de la actividad asociada a la emisión del gas en mención.

En su forma más general y simple, las emisiones se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Emisión de GEI} = \text{Actividad} * \text{Emisión}$$

La elaboración de los inventarios de gases de efecto invernadero, surten un proceso de cuatro etapas, que se resume en la Figura 4.

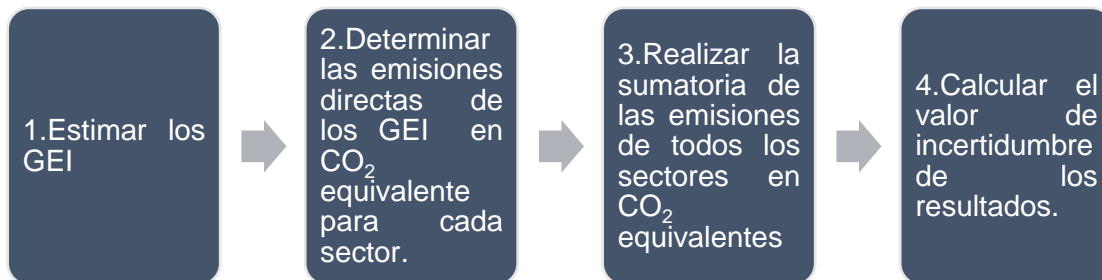


Figura 4. Esquema de aplicación metodológica para los inventarios GEI

Fuente: Elaboración propia a partir de la Metodología para emisiones y absorciones IPCC 2006.

4 SUMIDEROS DE CARBONO

Un sumidero de carbono o sumidero de CO₂, es un depósito natural o artificial de carbono, que absorbe el carbono de la atmósfera y contribuye a reducir la cantidad de CO₂ en la misma. El secuestro de carbono se entiende como el proceso de captura de un gas de efecto invernadero, un aerosol, o un precursor de los gases de efecto invernadero de la atmósfera y su almacenamiento en un depósito (IPPC,2005).

El secuestro o captura de carbono, en un sumidero de carbono que no sea la atmósfera, desde la perspectiva biológica incluye la absorción directa de dióxido de carbono de la atmósfera. mediante los cambios en los usos del territorio, la forestación, reforestación, y otras prácticas que mejoran los contenidos de carbono en los suelos agrícolas. Desde la perspectiva física, el secuestro de carbono incluye la separación y eliminación del dióxido de carbono procedente de gases de combustión o del procesamiento de combustibles fósiles para producir fracciones con un alto contenido de hidrógeno y dióxido de carbono y almacenarlos bien sea por procesos de carbonatación, almacenamiento geológico o almacenamiento oceánico. (IPPC,2005).

Los sumideros de carbono, si bien prestan de forma inherente a su funcionamiento, el servicio ecosistémico de regulación mediante la disminución de la concentración de GEI en la atmosfera, la prestación de este servicio por si mismo no garantiza la no emisión de GEI. El almacenamiento de CO₂ puede generar emisiones de CO₂ (esta actividad consume energía por lo que hay emisión de CO₂), sin embargo, la cantidad de CO₂ necesaria para la captura es sustancialmente menor que el CO₂ captado (IPPC, 2005).

4.1 Tipos de sumideros

4.1.1 Sumideros naturales

Un sumidero natural de carbono hace referencia procesos, actividades o mecanismo naturales por los cuales el CO₂ es absorbido o retirado de la atmósfera. (IPPC, 2007).

Los ecosistemas terrestres y el suelo son los depósitos naturales que tienen mayores reservas de carbono. (FAO 2003) La fotosíntesis constituye es el principal mecanismo de secuestro de carbono realizado por las coberturas vegetales (Figura 5).

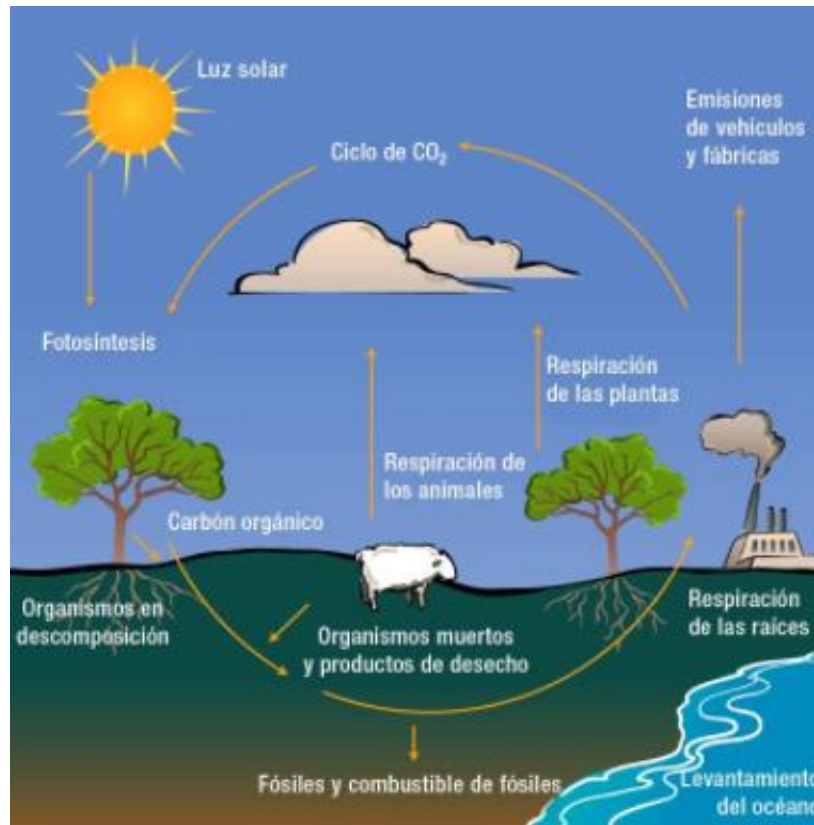


Figura 5. Ciclo del carbono
Fuente: *University corporation for atmospheric researches*

4.1.1.1 Reservas de biomasa

La captación y almacenamiento de dióxido de carbono en reservas de biomasa, se da por el proceso fotosintético que realizan las coberturas vegetales para su crecimiento, este proceso en cuanto a la misma captación de carbono es más eficiente en las coberturas de tipo boscoso. De acuerdo con Clark (2007), Gitay et al. (2002) y Phillips y Gentry (1994) citados por Yepes et al (2011), se afirma que los bosques tropicales pueden tener almacenado hasta el 80% del total del carbono almacenado en toda la vegetación terrestre. En concordancia y considerando únicamente la biomasa aérea,

se estima que esta representa el 60% o más del total de las reservas de carbono en la vegetación terrestre (Aragao et al. 2009, Chave et al. 2003, Malhi et al. 2004 en Yepes et al 2011).

La importancia de los bosques como reservas de carbono, radica en su capacidad de almacenamiento del mismo y a las extensiones de bosque, estimadas a la fecha en la tierra, que de acuerdo a la FAO en el caso de Europa y América del sur corresponden a las mayores proporciones del territorio. (Figura 6).

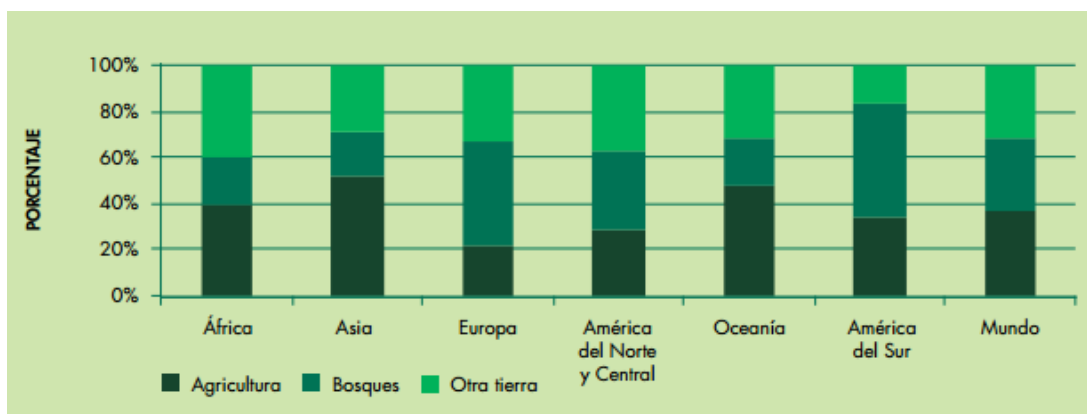


Figura 6. Superficie ocupada por las principales clases de uso de la tierra para el año 2010
Fuente: FAO (2016)

4.1.1.2 Suelos

La acumulación de carbono en los suelos, ocurre sobre la materia orgánica de los mismos, esta ocurre en forma de detritus o de manera más evolucionada a través de la descomposición se llega al humus del suelo. El reservorio de carbono en los suelos puede llegar a ser muy importante la permanencia en el tiempo de la reserva depende de la forma como se fijó la materia orgánica en el suelo, el tipo de vegetación, los factores climáticos y las acciones antrópicas. (Figueroa y Redondo 2007).

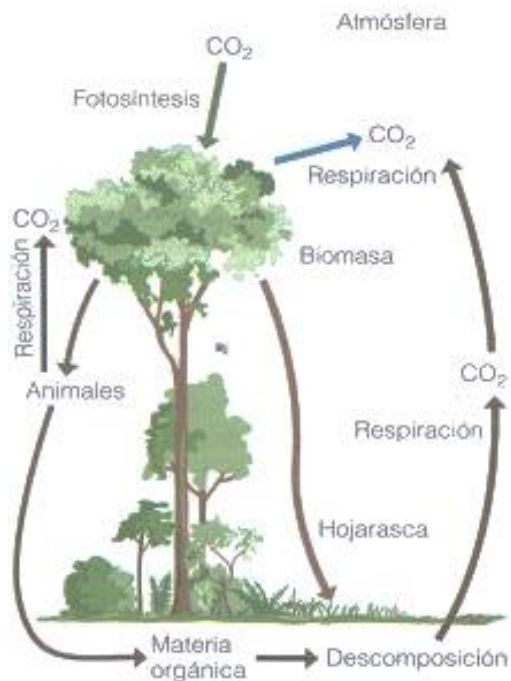


Figura 7. Fotosíntesis y captación de CO_2
Fuente: Adaptado de Smith & Smith (2001)

4.1.1.3 Océanos

Las comunidades acuáticas, realizan procesos activos de fotosíntesis que representa captaciones de CO_2 , con limitantes por la disponibilidad de luz y nutrientes. Cuando el CO_2 , se disuelve en el agua, se forma ácido carbónico (H_2CO_3) lo cual genera una reserva de carbono inorgánico. (Figuerola y Redondo 2007).

La actividad fotosintética dada la productividad primaria del fitoplancton, disminuye la presión atmosférica de manera parcial sobre las aguas superficiales, lo que crea un gradiente de difusión neto de la atmósfera al océano.

El consumo del fitoplancton por el zooplancton y los procesos de respiración de este, representa un flujo neto hacia la atmósfera que está casi equilibrado con el flujo en el sentido opuesto, que permite el paso de dióxido de carbono hacia los cuerpos de agua, sin embargo, una pequeña fracción de la materia orgánica, es sedimentada hacia capas internas del océano, por lo que el CO_2 sedimentado se entiende como retirado de la

atmosfera. La conjugación de la fotosíntesis y la sedimentación, constituyen un secuestro importante de CO₂, este proceso es conocido como “*La bomba biológica del carbono*”. Otro proceso que permite el secuestro de carbono en el océano, constituye el proceso físico de precipitación de carbonato de calcio. Finalmente después de la carbonatación y sedimentación mediante la diagénesis, el carbono se incorpora en las rocas, pasando a ser parte de la litosfera, a pesar de que océano está en capacidad de realizar captaciones importantes de CO₂ estos procesos son muy lentos, porque lo que no es eficiente frente a la acumulación del mismo en la atmosfera, de igual forma el efecto invernadero causado por la acumulación de GEI, causa además que la capacidad de captación de los océanos disminuya debido al calentamiento de las aguas marítimas. (Figuroa y Redondo 2007).

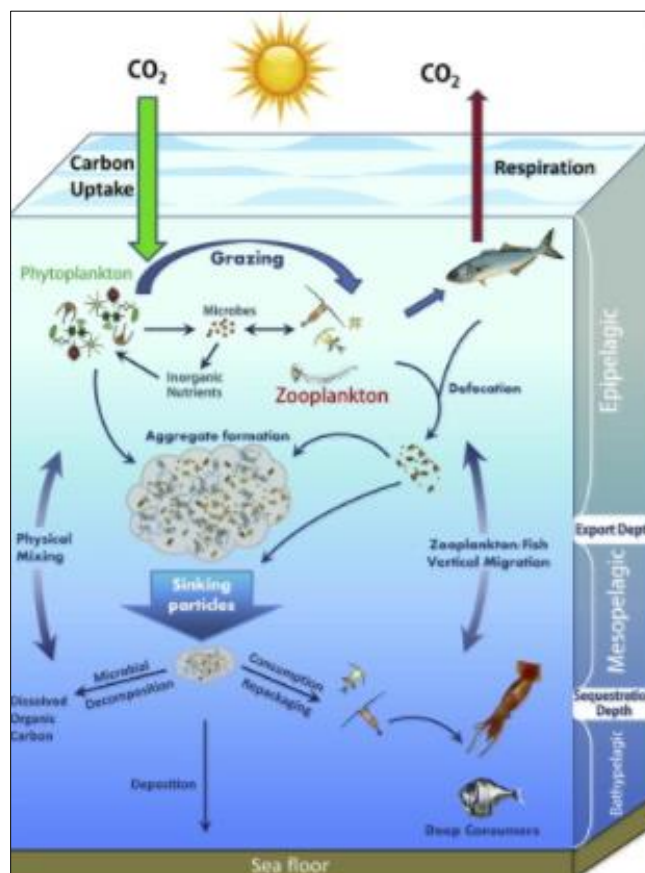


Figura 8: Proceso de captación de CO₂ por el océano
Fuente: Turner (2014)

4.1.2 Sumideros artificiales

La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono, de manera artificial consiste en un proceso para la separación del CO₂ emitido por la industria y las fuentes relacionadas con la energía, y posteriormente es transportado (por gasoductos o buques) a un lugar de almacenamiento con el fin de aislarlo de la atmósfera a largo plazo. (IPCC,2007).

4.1.2.1 Almacenamiento oceánico

El almacenamiento oceánico puede realizarse de dos formas, la primera mediante la inyección y disolución de CO₂ en la columna de agua (por lo general, a más de 1 km de profundidad) por medio de un gasoducto fijo o un buque en desplazamiento y la segunda mediante el depósito de CO₂ por medio de un gasoducto fijo o una plataforma marítima en el fondo oceánico a más de 3 km de profundidad, en donde el CO₂ tiene mayor densidad que el agua y se esperaría que forme un “lago” que retrasaría la disolución de CO₂ en el entorno .El almacenamiento oceánico y su posible impacto ecológico aún están en fase de investigación. (IPCC,2007)

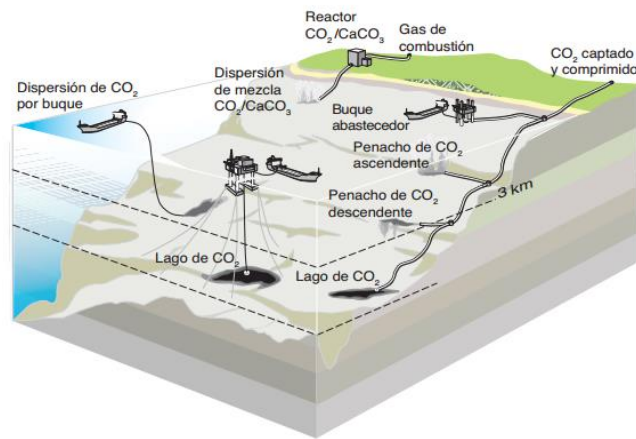


Figura 9. Almacenamiento oceánico
Fuente: IPCC 2007

4.1.2.2 Almacenamiento geológico

El almacenamiento geológico, de CO₂ en formaciones geológicas profundas, hace uso de las tecnologías desarrolladas por la industria petrolera y del gas. Se ha demostrado su viabilidad económica para condiciones específicas en los yacimientos de petróleo-gas y en las formaciones salinas, sin embargo, para el caso del almacenamiento en capas de carbón inexplotables no ha sido demostrada su viabilidad económica. (IPCC,2007).

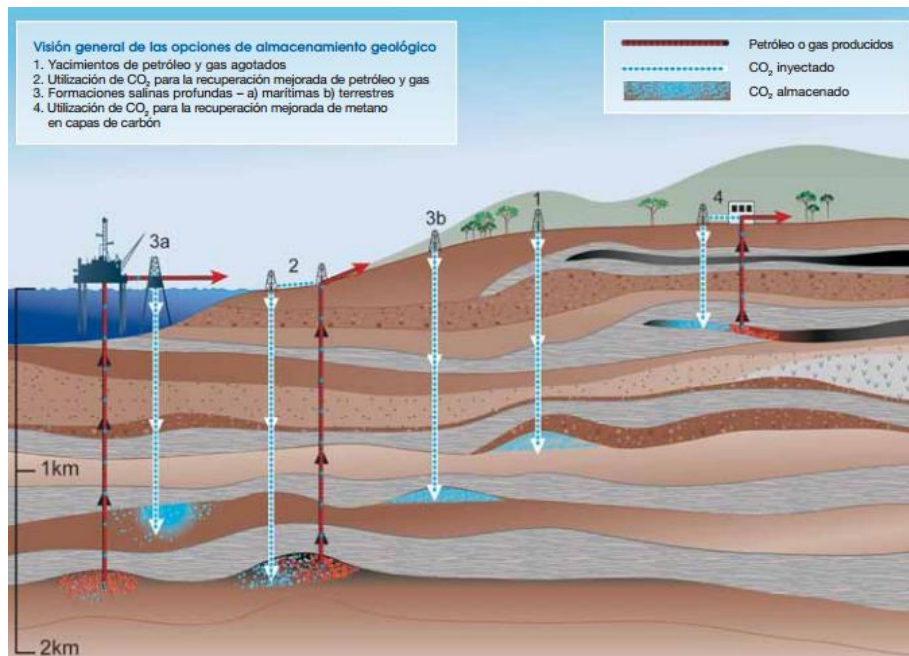


Figura 10. Almacenamiento geológico
Fuente: IPCC 2007

4.1.2.3 Carbonatación mineral

La carbonatación mineral es el proceso mediante el cual se fija CO₂, haciendo uso de óxidos alcalinos y alcalinotérreos, presentes en las rocas de silicatos de formación natural como la serpentina y el olivino. Se estima que la cantidad de óxidos metálicos presentes en las rocas de silicatos que pueden encontrarse en la superficie terrestre, excede de las cantidades necesarias para fijar todo el CO₂ que produciría la combustión de todas las reservas de combustibles fósiles existentes. Tras el proceso de carbonatación, el CO₂ no es liberado en la atmósfera. Sin embargo, las limitaciones

radican en los impactos ambientales dada la explotación de las reservas de silicatos disponibles y en los tiempos del proceso, ya que de manera natural la carbonatación es muy lenta, por lo que este debe acelerarse considerablemente a fin de que el mismo se convierta en método de almacenamiento viable. La tecnología de carbonatación mineral que utiliza silicatos naturales se halla en la fase de investigación buscando que la misma tenga mayores rendimientos energéticos. (IPCC,2007).

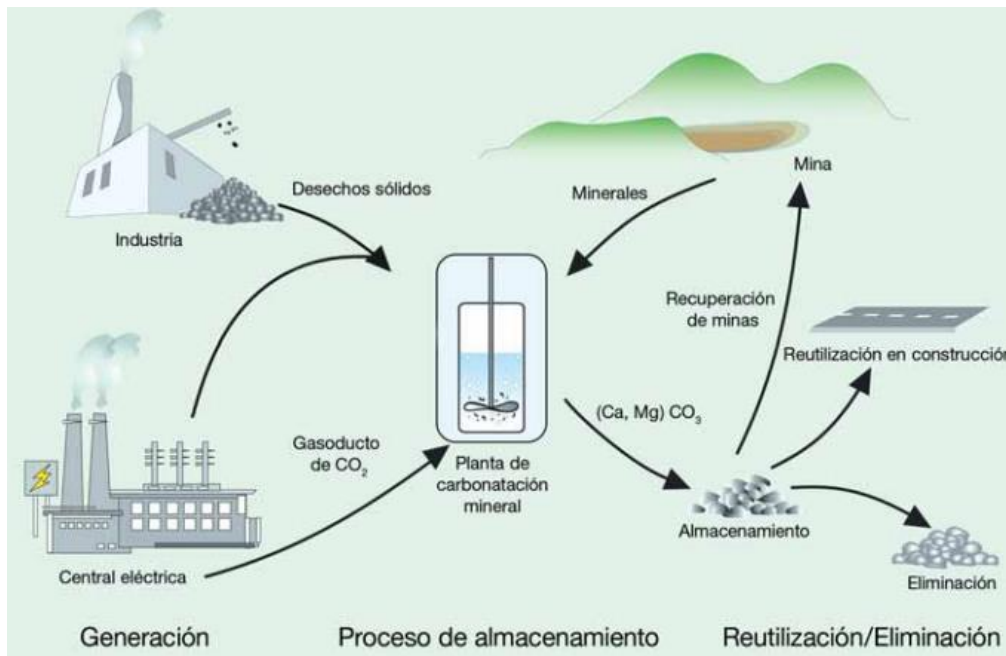


Figura 11.Proceso de carbonatación mineral
Fuente: IPPC 2007

5 HUELLA DE CARBONO.

La dependencia ecológica sobre los sumideros de CO₂ y bosques madereros, es decir la huella de carbono se considera, como la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera derivados de las actividades de producción o consumo de bienes y servicios de los seres humanos. (Fernández-Reyes, R. 2015).

La huella de carbono puede medir la emisión de GEI de diferentes conceptos: la de un ciudadano, una familia, una organización, un evento, un producto, un servicio, un territorio, un país, una empresa, determinada actividad económica, un proceso productivo, entre otros (Fernández-Reyes, R. 2015). En este mismo sentido Hertwich E; G (2009), define la huella de carbono como los gases de efecto invernadero emitidos en la producción de bienes y servicios, en donde los consumidores finales de estos servicios son los hogares, la industria, los gobiernos entre otros.

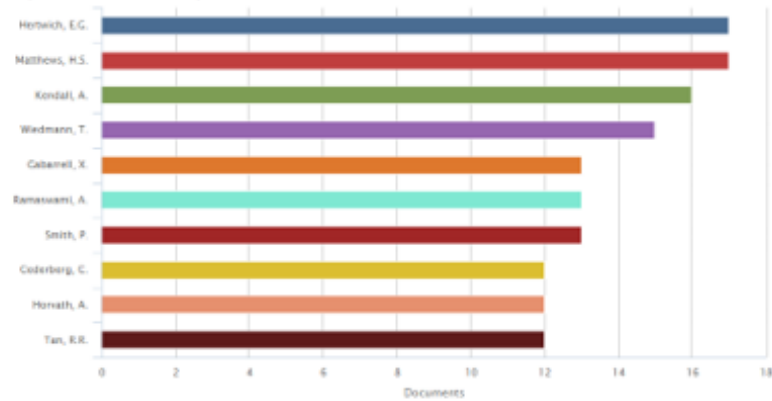
De acuerdo al análisis bibliométrico realizado en *Scopus*⁶ para la temporalidad 1993-2017, las publicaciones referentes a la huella de carbono empezaron a visualizarse en el año 1996, con grandes picos de publicaciones desde el año 2006, especialmente en el campo de las ciencias medio ambientales. (52, 4% de las publicaciones están en este campo), el autor con más publicaciones referente a la huella de carbono es Hertwich E; G.(Figura 12)

⁶ Base de Datos bibliográfica con herramientas para el análisis bibliométrico basado en el recuento de citas que reciben los artículos

Huella de carbono en el Valle de Aburrá

Documents by author

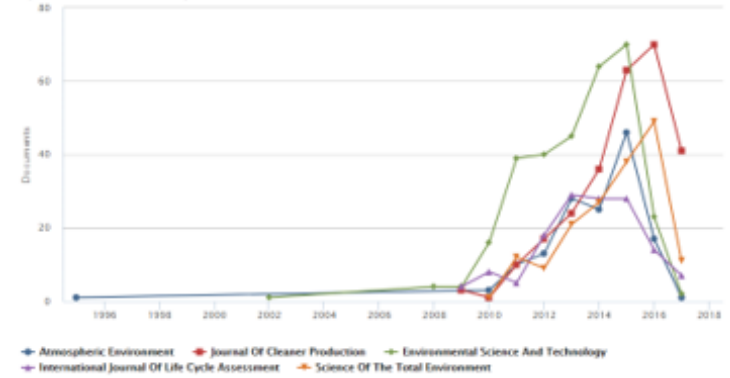
Compare the document counts for up to 15 authors



Documents per year by source

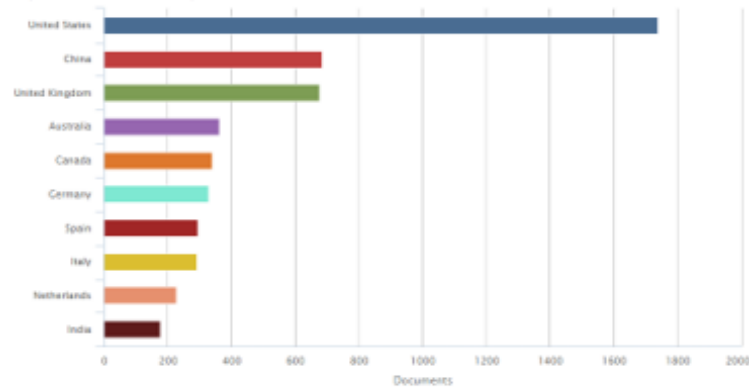
Compare the document counts for up to 10 sources

Compare sources and view OlsScore, SJR, and SNP data



Documents by country/territory

Compare the document counts for up to 15 countries/territories



Documents by subject area

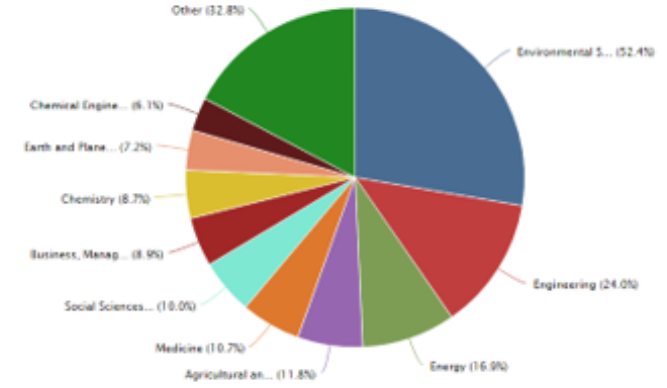


Figura 12 Huella de Carbono- análisis *Scopus* 1993-2017
Fuente: Elaboracion propia

De acuerdo con Hertwich E; G (2009), hay una relación entre la huella de carbono y la economía de los territorios , Hertwich E; G señala además la relación entre la huella de carbono y el consumo per cápita (para las categorías, construcciones, alimentación, vestuario., transporte, comercio entre otras) .

Hertwich E; G , presenta un comparativo de la huella de carbono entre países, teniendo en cuenta su vinculación a la economía mundial.; Sin embargo el mismo estudio reconoce como desventaja la disponibilidad de datos para una modelación económica global. Los resultados de la huella de carbono por país, de acuerdo a los datos del banco mundial se pueden observar en la Tabla 1 y en la Figura 12, de acuerdo a esto Colombia está ubicado en los umbrales más bajos a nivel mundial.

Tabla 1 Huella de carbono per cápita por país. (Toneladas / percápita)

País	1990	2013
Australia	15,5	16,3
Estados Unidos	19	16,1
Canadá	15,7	13,5
Japón	8,9	9,8
Alemania	11,6	9,4
China	2,2	7,6
Reino Unido	9,7	7,1
Venezuela	6,2	6,1
Francia	6,4	5,1
España	5,6	5,1
Suiza	6,3	5
Argentina	3,4	4,5
Portugal	4,2	4,4
México	3,7	3,9
Ecuador	1,6	2,8
Panamá	1,1	2,7
Brasil	1,4	2,5
Bolivia	0,8	1,9
Colombia	1,7	1,9
Perú	1	1,9

Huella de carbono en el Valle de Aburrá

País	1990	2013
Honduras	0,5	1,2
El Salvador	0,5	1
Guatemala	0,6	0,9
Haití	0,1	0,2

Fuente: Centro de Análisis de Información sobre Dióxido de Carbono, División de Ciencias Ambientales del Laboratorio Nacional de Oak Ridge (Tennessee, Estados Unidos)

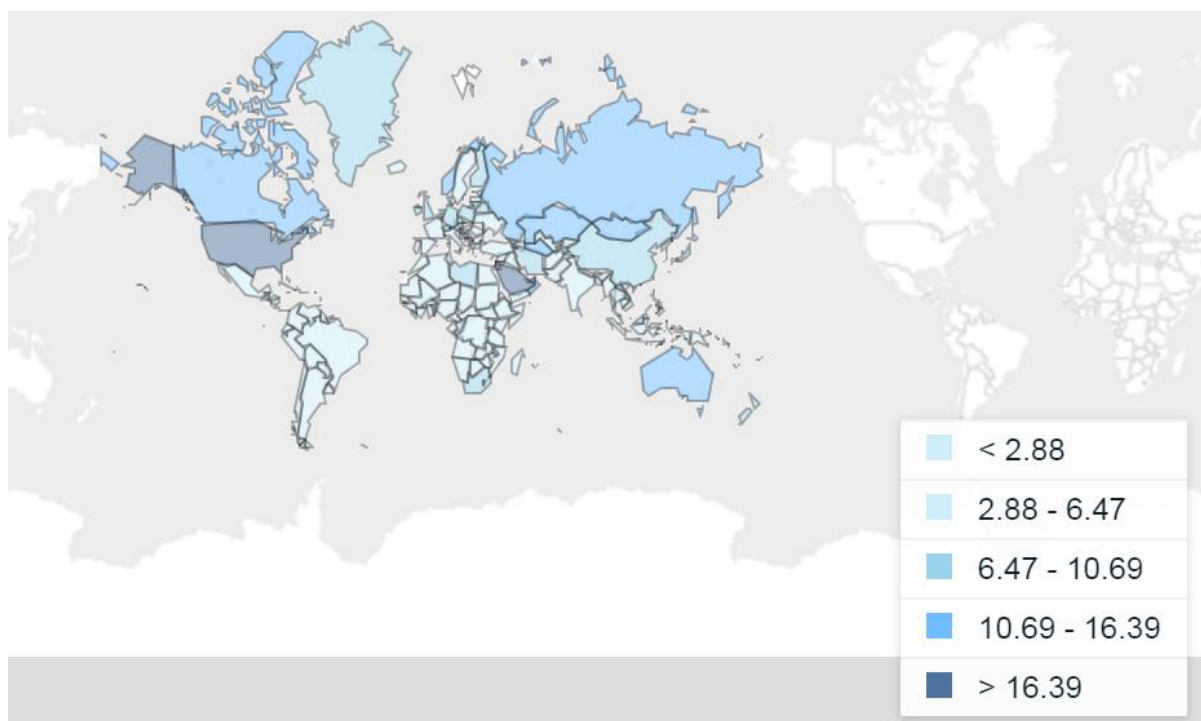


Figura 13. Emisiones de CO₂ per cápita para el año 2013.

Fuente: Centro de Análisis de Información sobre Dióxido de Carbono, División de Ciencias Ambientales del Laboratorio Nacional de Oak Ridge (Tennessee, Estados Unidos).

De acuerdo al último inventario nacional de GEI para Colombia elaborado para el año 2012 y publicado en el año 2016 por el IDEAM. Colombia tiene un total neto de 185,6Mton⁷. de CO₂. Las emisiones GEI de Colombia, corresponde al 0,4% del total de las emisiones mundiales. De acuerdo con el IDEAM (2016), las emisiones per cápita de

⁷ Mton CO₂eq.: Millones de toneladas (1.000.000) de CO₂ equivalente.

carbono en el país son de 4,2 ton CO₂ eq. / habitante. Lo que indica una subestimación en los datos del banco mundial en donde para el año 2013 reporta un valor de 1,9 ton CO₂ eq. / habitante, esta subestimación se debe a que si bien el dato de huella de Carbono de 2 ton CO₂ eq. / habitante corresponde al año 2012, este tan solo fue publicado en el año 2016 y los cálculos de huella de carbono exigen datos de calidad en cuanto a los inventarios de emisiones de GEI nacionales.

Las emisiones y absorciones del departamento de Antioquia fueron 22.94 Mton y -9.9 Mton de GEI respectivamente para el año 2012. (IDEAM, 2016) de acuerdo con estos datos la huella de carbono del departamento es de 1,99 ton CO₂ / hab.

Este trabajo trata puntualmente, sobre la huella de carbono referente al del valle del Aburrá, y desarrollara los resultados sobre este tema en los numerales siguientes.

5.1 Balance de emisiones/El papel de las coberturas.

El cambio climático, de acuerdo con La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en el Artículo 1, se define como : “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”; En este sentido la captura y almacenamiento de carbono, por los ecosistemas terrestres constituye un servicio ecosistémico de regulación : “Los beneficios resultantes de la regulación de los procesos ecosistémicos, incluyendo el mantenimiento de la calidad del aire, la regulación del clima, el control de la erosión, el control de enfermedades humanas y la purificación del agua,.” PNGIBSE (2012).

Uno de los servicios ecosistémicos de regulación más importante, es la captación de carbono; Para el caso de Colombia, el IDEAM (2010) estimó los contenidos totales de reserva CO₂ eq almacenados por la biomasa área de los bosques del país (con un área total de 60.548.267,97 ha estimadas para el año 2010), equivalen a 27.028; 61 Mton CO₂eq Para el año 2012 de acuerdo al inventario nacional de GEI elaborado por el

IDEAM, en Colombia se emitieron un total de 258,8 Mton CO₂eq y se absorbieron 73,2 Mton CO₂eq. Las principales emisiones en este año fueron por la conversión de bosque natural a pastizales, u otro tipo de tierras forestales como arbustales o vegetación secundaria con una capacidad de captación menor a la de los bosques. Las absorciones de CO₂, en el país se deben en un 40,84 % a la regeneración de bosque natural, el 59, 15 % restante corresponde a absorciones realizadas por los cultivos permanentes, en donde se destaca el cultivo del café, que realiza un aporte del 20% de las absorciones netas de CO₂.

Los resultados el último balance de emisiones para el país, permite concluir como las coberturas terrestres no solamente juegan un papel importante en la absorción de GEI, sino que además el no mantenimiento de las mismas genera grandes emisiones de dióxido de carbono. De acuerdo con la evaluación de los ecosistemas del Milenio (2005), hay 5 motores directos que actúan sobre la transformación y pérdida de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos:

1. *Transformación y pérdida de ecosistemas y hábitats naturales.*
2. *Sobreexplotación*
3. *Invasiones biológicas*
4. *Contaminación*
5. *Cambio climático*

El servicio ecosistémico de regulación correspondiente a la captación de carbono-el cual es prestado por el arreglo espacial de las coberturas terrestres de un ecosistema dado, está intrínsecamente relacionado con los motores de transformación 1 y 5, en donde la transformación y pérdida de ecosistemas y hábitats naturales, repercute directa y negativamente sobre el motor 5: Cambio climático. Es por esta razón que se hace importante volcar la atención sobre el mantenimiento y conservación de las coberturas terrestres con capacidad de absorción de dióxido de carbono. En esto sentido la FAO (2003) recomienda, desarrollar acciones para el mantenimiento e incremento de los ecosistemas que funcionan como sumideros de carbono.

En Colombia frente a la conservación de la biodiversidad, se cuenta con la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE) , esta política responde a los compromisos adquiridos por el país en el Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB)- Esta convención se dio bajo el marco de la cumbre de Rio 1992 : que corresponde a la reunión de Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y a la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación.

El Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), plantea el Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020 que deben cumplir los países que aprobaron el acuerdo. La PNGIBSE para Colombia, adopta este plan estratégico y las metas Aichi que el mismo Plan estratégico propone. Las metas Aichi, están asociadas a un objetivo estratégico, se resalta la meta referente a la conservación de ecosistemas que prestan servicios de regulación como la captación de carbono:

“Objetivo estratégico D: aumentar los beneficios de los servicios de la diversidad biológica y los ecosistemas para todos”

“Meta 15: Para 2020, se habrá incrementado la resiliencia de los ecosistemas y la contribución de la diversidad biológica a las reservas de carbono, mediante la conservación y la restauración, incluida la restauración de por lo menos el 15 por ciento de las tierras degradadas, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático y a la adaptación a este, así como a la lucha contra la desertificación.”

A pesar de que *El Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020* , en su meta 15, indica la importancia de la conservación de los bosques como reservorios de carbono; En Colombia de acuerdo con los resultados del último inventario nacional de GEI (2012), uno de los principales precursores sobre el cambio climático en el país, es la transformación de los bosques, es decir el proceso de deforestación, por lo que se hace primordial visibilizar el papel de la conservación de los bosques, no solamente como reservorios de carbono, sino además la necesidad de evitar la transformación de los mismos hacia coberturas con menor capacidad de captación de carbono.

6 EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO EN EL VALLE DE ABURRÁ

6.1 Área de Estudio: El valle de Aburrá

Este trabajo trata sobre la huella de carbono del valle de Aburrá, y se analiza para el balance de emisiones/ cobertura su relación con el entorno geográfico más próximo: El departamento de Antioquia. Los numerales 6.1.1 y 6.1.2 presentan respectivamente una descripción general de las características geográficas del departamento de Antioquia y sus subregiones, la subregión del valle de Aburrá se analiza separadamente para dar un mejor detalle de la misma ya que es sobre esta zona en donde se centra este estudio.



Figura 14. Localización área de estudio
Fuente: Elaboración propia.

6.1.1 Departamento de Antioquia.

El departamento de Antioquia se encuentra en el costado nororiental de Suramérica, geográficamente se localiza al norte con el mar Caribe, con el departamento de Córdoba, entre los límites de las serranías de Abibe y Ayapel y el río Cimitarra como límite entre los departamentos de Sucre y Bolívar. Al oriente el río Magdalena en una longitud de 245 kilómetros, hace de límite con los departamentos de Santander y Boyacá. Al sur limita con el departamento de Caldas, teniendo como límites los ríos : La Miel , Samaná Sur, Arma y el río Cauca hasta la desembocaduras de los ríos Arma y Arquía, siguiendo el curso de este último hasta su nacimiento en el cerro los Mellizos y de éste por toda la serranía hasta el cerro Paramillo, hasta los límites con el departamento de Risaralda- Al occidente limita con el departamento del Chocó, marcando el límite la Cordillera Occidental de los Andes y el río Atrato en otras (en un extensión 188 kilómetros), hasta llegar a su desembocadura en el Golfo de Urabá. (Gobant ,2016)

De acuerdo al instituto geográfico Agustín Codazzi, el departamento de Antioquia tiene una extensión 63.612 Km². Antioquia administrativamente está conformado por 125 municipios, y 9 subregiones: Bajo Cauca, Magdalena Medio, Nordeste, Norte, Occidente, Oriente, Suroeste Urabá. y el Valle de Aburrá.

6.1.1.1 Bajo Cauca

Esta subregión está localizada sobre la cordillera central, en las cuencas de los ríos Cauca y Nechí. entre las serranías de Ayapel y San Lucas está conformada por seis municipios: Caucasia, El Bagre, Nechí, Tarazá, Cáceres y Zaragoza tiene una extensión de 8.485 km², El total de su extensión, corresponde al 13, 8 % de la superficie del departamento, casi totalmente sobre piso térmico cálido, sus coberturas terrestres⁸ corresponden principalmente. a: bosque muy húmedo premontano (26,76 %), bosque

⁸ Los datos sobre coberturas terrestres para todas las subregiones corresponden a cálculos propios sobre

muy húmedo tropical (10,33 %), pastos (23, 61 %) y áreas agrícolas heterogéneas (13,67 %).

El número de habitantes en la subregión de acuerdo con la proyección al año 2016 es de 305.888 habitantes, la subregión tiene en todos sus municipios comunidades indígenas de las etnias Embera-Katio y Senú. (Gobant, 2016).

De acuerdo con la gobernación de Antioquia (2017). La minería es uno de los renglones económicos más importante en la subregión, Otras actividades importantes son la producción piscícola, la agricultura y la ganadería.

6.1.1.2 Magdalena Medio

Esta subregión está localizada sobre la cuenca del río Magdalena, entre los ríos Cimitarra, San Bartolomé, Nare y Cocorná. Está conformada por seis municipios: Caracolí, Maceo, Puerto Berrío, Puerto Nare, Puerto Triunfo y Yondó, tiene una extensión de 4730 km², El total de su extensión, corresponde al 7,44 % de la superficie del departamento. Se encuentra sobre piso térmico cálido, sus coberturas terrestres corresponden principalmente. a pastos (39,87 %), bosque húmedo tropical (17, 25 %) y bosque muy húmedo premontano (9,50 %).

El número de habitantes en la subregión de acuerdo con la proyección al año 2016 es de 117.382 habitantes, En el Municipio de Puerto Berrio habitan comunidades indígenas de la etnia Kamarandú.

Las principales actividades económicas, son la minería (explotación carbonífera y la extracción de calizas, calcáreos, cuarzo y mármoles), cultivos, en donde se destaca el de la palma de aceite y actividades ganaderas. En el Municipio de Yondó se encuentran explotaciones petroleras (Gobant, 2017).

6.1.1.3 Nordeste

Esta subregión está localizada sobre las vertientes orientales de la cordillera central, entre la Serranía de San Lucas y los ríos Porce, Nechí, Nus , Mata y Alicante, está

conformada por diez municipios: Amalfi, Anorí, Cisneros, Remedios, San Roque, Santo Domingo, Segovia, Vegachí, Yalí y Yolombó, tiene una extensión de 8.421km², El total de su extensión, corresponde al 13,32 % de la superficie del departamento, se sobre piso térmico cálido y medio en igual proporción, sus coberturas terrestres corresponden principalmente. a: bosque húmedo tropical (25,60 %), bosque muy húmedo Premontano (18,08 %), pastos (19,32 %) y áreas agrícolas heterogéneas (17,88 %).

El número de habitantes en la subregión de acuerdo con la proyección al año 2016 es de 188.153 habitantes, la subregión tiene en los municipios de Anorí y Segovia comunidades indígenas de la etnia Senú y en los municipios de Remedios y Vegachí de la etnia Embera-Chami. (Gobant, 2016).

La minería aurífera es uno de las actividades económicas más importante en la subregión (Nordeste es el segundo productor de oro en el departamento, después del bajo cauca), el cultivo agrícola principal es la caña panelera, otras actividades importantes son la producción piscícola y la explotación maderera. (Gobant, 2017).

6.1.1.4 Norte

La subregión Norte, está localizada sobre la cordillera central, entre el norte del valle de Aburrá y el nudo de Paramillo, y los ríos Grande, Nechí y Cauca, está conformada por 17 municipios: Angostura, Belmira, Briceño, Campamento, Carolina del Príncipe, Don Matías, Entreríos, Gómez Plata, Guadalupe, Ituango, San Andrés de Cuerquia, San José de la Montaña, San Pedro de los Milagros, Santa Rosa de Osos. Toledo, Valdivia y Yarumal, en esta subregión se diferencian claramente dos unidades fisiográficas, el altiplano norte y la vertiente del río Cauca., tiene una extensión de 7.362 km², El total de su extensión, corresponde al 11,65 % de la superficie del departamento, esta sobre los pisos térmicos frío, medio y cálido, en una mayor proporción para los dos últimos. sus coberturas terrestres corresponden principalmente. a: pastos (30,98 %) áreas agrícolas heterogéneas (18,86 %)., sus coberturas boscosas corresponden a un 34,29 %, en donde se destacan el bosque muy húmedo montano bajo, bosque muy húmedo premontano y el bosque pluvial premontano en proporciones casi iguales.

El número de habitantes en la subregión de acuerdo con la proyección al año 2016 es de 261.411 habitantes, la subregión tiene en el municipio de Ituango comunidades indígenas de la etnia Embera-Katio. (Gobant, 2016).

La subregión se caracteriza por ser productora de energía mediante los sistemas d embalse, en la zona del altiplano se destaca la producción lechera

6.1.1.5 Occidente

Esta subregión se localiza entre la división que hace el río Cauca sobre las cordilleras central y occidental, limita al norte con el nudo de Paramillo, y al sur con el valle de Aburrá. está conformada por 19 municipios: Abriaquí, Anzá, Armenia, Buriticá, Caicedo, Cañas Gordas, Dabeiba, Ebéjico, Frontino, Giraldo, Heliconia, Liborina, Olaya, Peque, Sabanalarga, San Jerónimo, Santa fe de Antioquia, Sopetrán y Uramita. Tiene una extensión de 7.551 km², El total de su extensión, corresponde al 11,94% de la superficie del departamento, su territorio tiene extensiones sobre pisos térmicos frío, medio y cálido, en una mayor proporción para los dos últimos. sus coberturas terrestres corresponden principalmente. a: pastos (30,98 %) áreas agrícolas heterogéneas (18,86 %)., sus coberturas boscosas corresponden a un 34, 29 %, en donde se destacan el bosque muy húmedo montano bajo, bosque muy húmedo premontano y el bosque pluvial premontano en proporciones casi iguales.

El número de habitantes en la subregión de acuerdo con la proyección al año 2016 es de 261.411 habitantes, la subregión tiene en el municipio de Ituango comunidades indígenas de la etnia Embera-Katio. (Gobant, 2016).

La subregión se caracteriza por ser productora de energía mediante los sistemas d embalse, en la zona del altiplano se destaca la producción lechera

6.1.1.6 Oriente

Esta subregión se encuentra entre el valle de Aburrá y el valle del Magdalena Medio sobre la cordillera central, fisiográficamente se destaca el altiplano de San Nicolás, dentro de su hidrografía hay un gran sistema de embalses se destacan los ríos: Negro,

Nare, Piedras, Calderas, San Carlos, Samaná Norte, Guatapé entre otros. Está conformada por 23 municipios: Carmen de Viboral, El Retiro, Santuario, Guarne, La Ceja, La Unión, Marinilla, Rionegro, San Vicente, Alejandría, Concepción, El Peñol, Granada, Guatapé, San Carlos, San Rafael, Sonsón, Nariño, Argelia, Abejorral, Cocorná, San Francisco y San Luis. Tiene una extensión de 7.110km², El total de su extensión, corresponde al 11,25% de la superficie del departamento, su territorio pasa por todos los pisos térmicos. sus coberturas terrestres corresponden principalmente. a: áreas agrícolas heterogéneas (28,96 %), pastos (21,68 %), sus coberturas boscosas corresponden a un 23,45 %, en donde se destacan principalmente el bosque muy húmedo montano bajo, seguidos del bosque muy húmedo premontano y el bosque húmedo tropical.

El número de habitantes en la subregión de acuerdo con la proyección al año 2016 es de 586.659 habitantes, después de Urabá y el valle de Aburrá, es la subregión con mayor número de habitantes.

Frente a la economía, la subregión se caracteriza por ser tener un gran sistema de embalses siendo una de las mayores productoras del país, también hay producciones agrícolas importante, se destaca además el crecimiento del sector de comercio y servicios en el oriente cercano.

6.1.1.7 Suroeste

Esta subregión se encuentra entre la cordillera occidental y la cordillera central, entre las cuencas del río Cauca y el río Juan. Está conformada por 23 municipios: Amagá, Andes, Angelópolis, Betania, Betulia, Caramanta, Ciudad Bolívar, Concordia, Fredonia, Hispania, Jardín, Jericó, La Pintada, Montebello, Pueblorrico, Salgar, Santa Bárbara, Támesis, Tarso, Titiribí, Urao, Valparaíso y Venecia. Tiene una extensión de 6.400 km², el total de su extensión corresponde al 10,18 % de la superficie del departamento, su territorio pasa por todos los pisos térmicos. Sus coberturas terrestres corresponden principalmente. a: áreas agrícolas heterogéneas (22,39 %), pastos (22,42 %), sus

coberturas boscosas corresponden a un 37,96 %, en donde se destacan principalmente el bosque muy húmedo Montano Bajo y el bosque pluvial Premontano

El número de habitantes en la subregión de acuerdo con la proyección al año 2016 es de 377.236 habitantes, después del valle de Aburrá, es la subregión con mayor número de habitantes. Entre sus habitantes se encuentran comunidades indígenas de las comunidades Emberá – Chamí, Emberá – Katío, Senú.

Económicamente se destaca por la producción agrícola en donde el cultivo principal es el café.

6.1.1.8 Urabá.

Esta subregión se encuentra al extremo norte del departamento de Antioquia, se destaca como accidentes geográficos la serranía de Abibe y el Golfo de Urabá sobre el mar Caribe. Está conformada por 11 municipios: Arboletes, San Juan de Urabá, San Pedro de Urabá. Necoclí, Apartadó, Carepa, Chigorodó, Turbo, Mutatá, Murindó y Vigía del Fuerte. Tiene una extensión de 11.750 km², el total de su extensión, corresponde al 18,6 % de la superficie del departamento, su territorio esta sobre piso térmico cálido. Sus coberturas terrestres corresponden principalmente. a: %), pastos (24,54 %), áreas agrícolas heterogéneas (10,13%). Sus coberturas boscosas corresponden a un 46,7 %, en donde se destacan principalmente el bosque muy húmedo tropical y bosque pluvial Premontano.

El número de habitantes en la subregión de acuerdo con la proyección al año 2016 es de 676. 356 habitantes, después del valle de Aburrá, es la subregión con mayor número de habitantes. Entre sus habitantes se encuentran comunidades indígenas Emberá – Katío.

Dentro de sus renglones económicos, se destaca por la producción agroindustrial de banano, piña y palma de aceite, su salida al mar la convierte en una zona estratégica para el departamento.

6.1.2 Valle de Aburrá.

El valle de Aburrá está localizado en el centro del departamento de Antioquia. Corresponde a una depresión interandina de la cordillera central. Geográficamente coincide con la cuenca del río Aburrá o Medellín, el cual transcurre en dirección sur-norte-noroccidente en un recorrido aproximado de 70 kilómetros de longitud, desde su nacimiento hasta la desembocadura del río Grande a la altura de puente Gabino, en donde se empieza a conocer como río Porce. (Agudelo, 2010).

La topografía del valle de Aburrá, es irregular sobre un fondo plano y estrecho en algunos sectores, con amplitudes máximas de 10 kilómetros, y altas pendientes hacia sus laderas geológicamente compuestas de rocas ígneas constituidas esencialmente por el batolito antioqueño, serpentinas y el batolito de AltaVista, rocas metamórficas provenientes de anfibolitas y metasedimentos que conforman el grupo Ayurá Montebello y finalmente por sedimentos no consolidados formados por terrazas y depósitos coluviales. Los suelos de baja fertilidad son derivados de batolitos profundos, arcillosos con permeabilidad media, buen drenaje y erosiones ligeras o severas en relación con el relieve, bien sea este quebrado o escarpado. Los suelos con alta fertilidad fueron ocupados por procesos de urbanización, exceptuando algunas zonas de llanura aluvial en el norte del valle de Aburrá, en donde el uso corresponde a ganadería- (Agudelo, 2010).

Las elevaciones del valle de Aburrá, se sitúan entre los 1.120 y 3.130 msnm⁹, la temperatura media anual se encuentra entre los 18 y 22°C y la precipitación promedio es de 2500 mm anuales (AMVA, 2006). Los vientos soplan principalmente de norte a sur (alisos del noroeste), la velocidad promedio es de 5 km/h, los vientos movilizan las nubes hacia la zona sur del valle, de tal forma que las montañas localizadas a su paso, permiten que las nubes cálidas y húmedas, asciendan hasta el punto de condensación y ocurra la precipitación. Este fenómeno explica, porque en los Municipios localizados en el sur se presentan los mayores valores de precipitación. (Agudelo, 2010).

⁹ msnm: Metros sobre el nivel del mar

Huella de carbono en el Valle de Aburrá

Las coberturas terrestres del valle de Aburrá, corresponden a zonas urbanizadas (30%), pastos (29,19 %), áreas agrícolas heterogéneas (24,92%) y los bosques (12,58 %) principalmente al bosque muy húmedo montano bajo localizado en las partes altas del corregimiento de San Cristóbal y a los remanentes de bosque húmedo premontano alrededor del valle de Aburrá.

Administrativamente, el valle de Aburrá está conformado por diez Municipios: Caldas, Sabaneta, La Estrella, Itagüí, Envigado, Medellín, Bello, Copacabana, Girardota y Barbosa. Tiene una extensión de 1.152 km². de los cuales el 70% corresponden a zonas rurales y el 30% a zonas urbanas (AMVA, 2012).

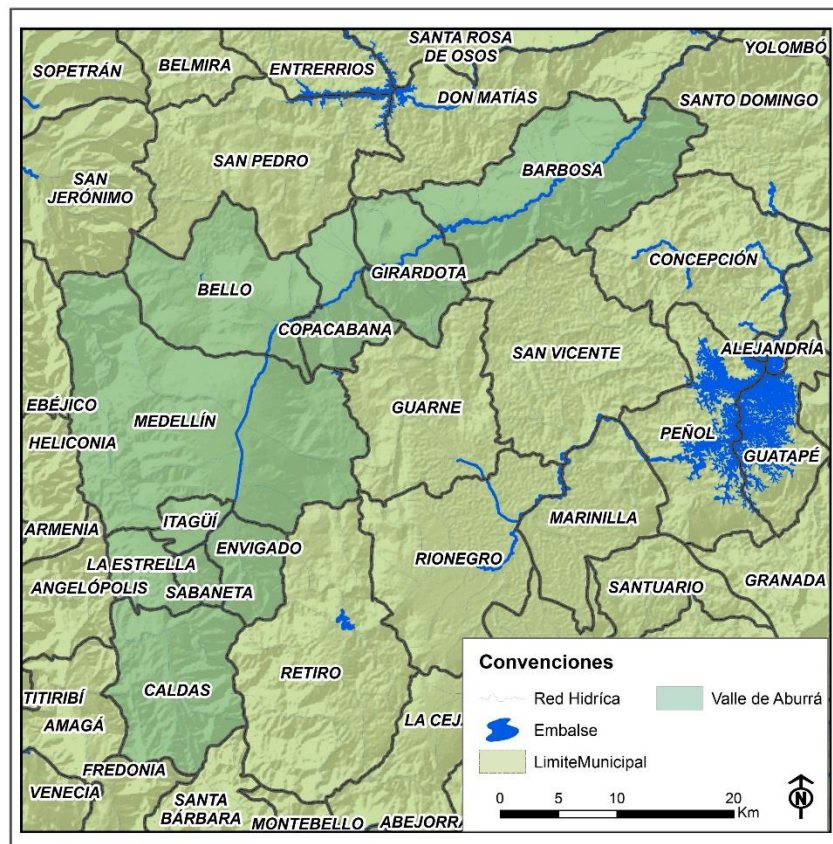


Figura 15. Localización del valle de Aburrá
Fuente: Elaboración propia

En el valle de Aburrá, de acuerdo con la proyección a 2016, realizada por la Gobernación de Antioquia para el anuario estadístico, se reportan 3.821.890 millones

Huella de carbono en el Valle de Aburrá

de habitantes, lo cual corresponde al 58% de la población del departamento de Antioquia.

El crecimiento espontáneo y desordenado de las cabeceras urbanas, los asentamientos en zonas de alto riesgo, transformación de coberturas terrestres naturales a coberturas residenciales e industriales, la reducción de la oferta hídrica y la contaminación ambiental en el valle de Aburrá, representan la problemática ambiental de la subregión. (Cardona, 2007).

Dentro de los principales factores de contaminación ambiental en el valle de Aburrá, se encuentra el deterioro de la calidad del aire, debido en gran medida por las emisiones de gases de efecto invernadero y la concentración de material particulado.

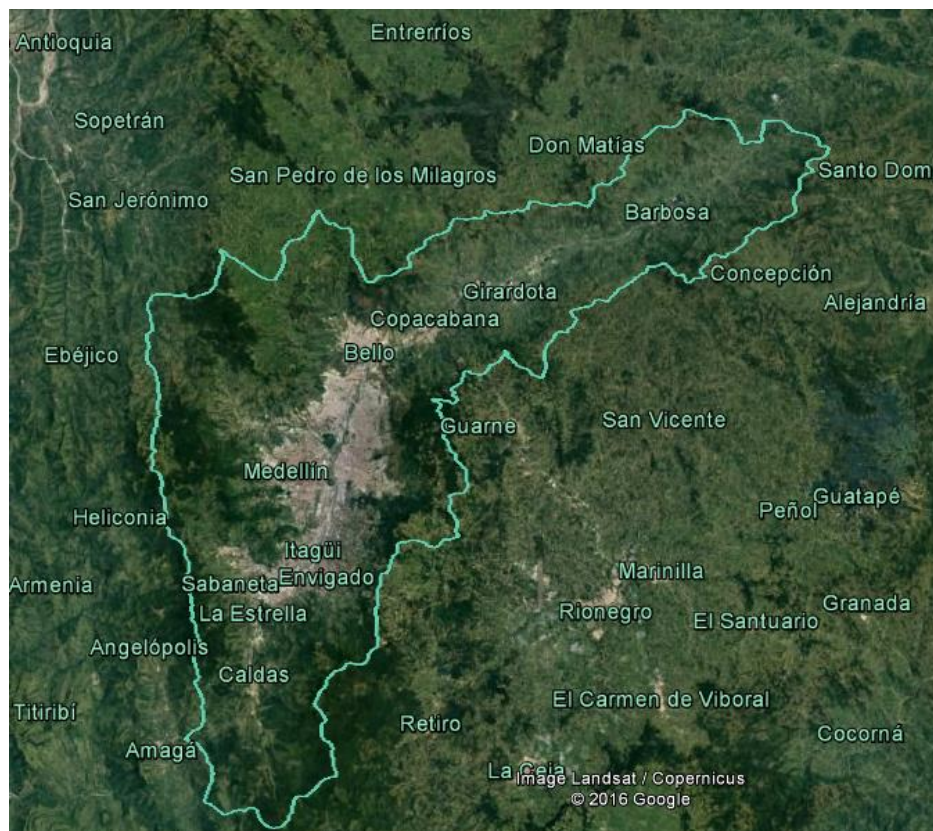


Figura 16. Imagen Landsat del valle de Aburrá
Fuente: Google Earth (2017)

6.2 Emisiones de gases efecto invernadero en el área Metropolitana del valle de Aburrá

Los gases emitidos por algunas actividades humanas, son conocidos como Gases de Efecto Invernadero – GEI, los cuales son: el dióxido de carbono, el óxido nitroso, el metano, algunos halocarbonos (como los CFCs, HCFCs, HFCs y los PFCs), el ozono troposférico (el cual se forma a partir del monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y otros compuestos orgánicos volátiles). Tienen un efecto sobre el cambio del clima a través del tiempo.

El Área Metropolitana del Valle de Aburra, realizó el primer inventario de emisiones atmosféricas para el año base 1996 para los 10 Municipios que conforman el valle de Aburra y se continuó con los inventarios para los años 1999, 2005, 2007, 2009 y 2011.

El actual inventario de GEI que se llevó a cabo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá para los años 2009-2011, es el primero que se realiza para la región bajo la metodología IPCC¹⁰ del año 2006. El inventario actual encontró que Las emisiones netas de GEI fueron 4.368 y 4.405 Gigagramos (Gg¹¹) de CO₂ -eq para 2009 y 2011, respectivamente, lo cual representa un aumento en las emisiones del 1% asociado con el crecimiento del parque automotor, que en 2011 registró un incremento del 24% con respecto al año base. El sector Energía contribuyó con 89% de las emisiones totales, seguido por los sectores IPPU¹², AFOLU¹³ y Residuos con contribuciones de 6%, 4% y 1%, respectivamente. (AMVA et al, 2013). Los siguientes numerales, especifican mejor el comportamiento de las emisiones por sector, igualmente las mediciones detalladas por sector están disponibles en el Anexo 1.

¹⁰ IPCC : Siglas en inglés : Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

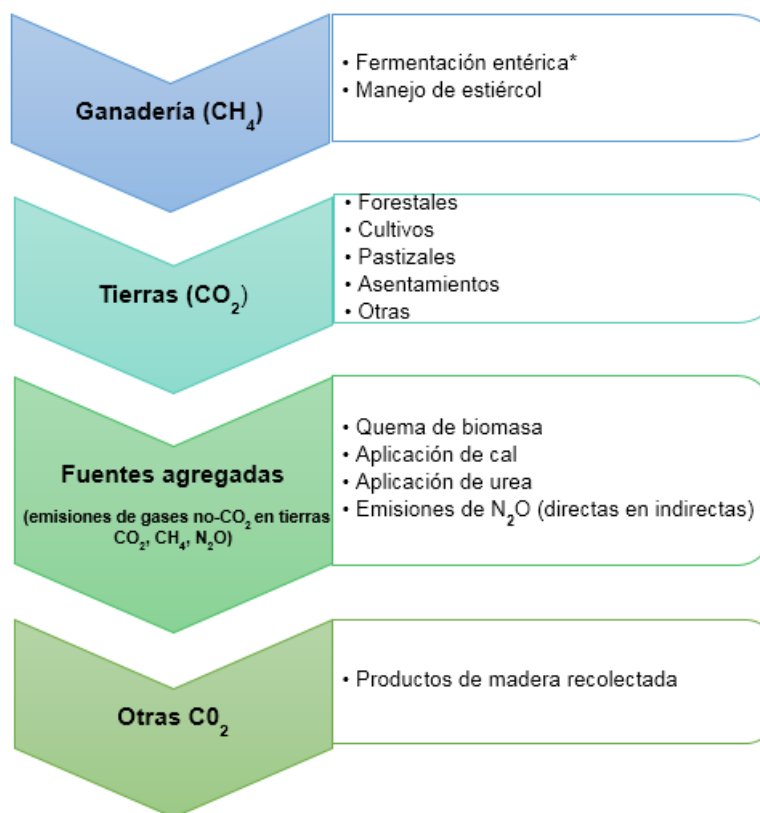
¹¹ Gg: Gigagramos en el sistema inglés la equivalencia es la siguiente: 1 Gigagramo=1000 Toneladas

¹² IPPU : Siglas en inglés : Procesos industriales y uso de productos

¹³ AFOLU: Siglas en inglés: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra

6.2.1 Emisiones en el Sector AFOLU

El sector AFOLU, que de acuerdo a sus siglas en inglés hace referencia al sector de agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra, integra la orientación previa individual incluida en las Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, en la versión revisada del año 1996, para la Agriculturaa (Capítulo 4) y para Usos de la tierra, cambios de uso de la tierra y silvicultura (Capítulo 5). (IPCC, 2006). Esta combinación señala que los procesos que subyacen a las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero, así como las diferentes formas de carbono almacenado en tierra, pueden producirse en todos los tipos de tierras. Se reconoce además que los cambios de uso de la tierra pueden producirse en todos los tipos de tierras.



***Fermentación entérica**:- proceso de la digestión de los herbívoros que genera metano como subproducto (Cabrera Leal, et al.2010)

Figura 17. Inventario GEI sector AFOLU Medellín
Fuente: Elaboración propia a partir de AMVA-UPB (2013)

Este sector, presenta La adopción de las seis categorías de uso de la tierra, (tierras forestales, tierras de cultivo, pastizales, humedales, asentamientos y otras tierras, Estas categorías de tierras pueden subdividirse de acuerdo con la disponibilidad de información y al nivel de análisis, en tierras que se mantienen en la misma categoría y aquellas que se convierten de una categoría a otra. Las categorías de usos de la tierra sirven para permitir la inclusión de toda la superficie de tierra gestionada en un país dado. (IPCC,2006)

El sector AFOLU en el Valle de Aburrá para los años 2009 y 2011 respectivamente. tuvo como absorciones netas de GEI 297 y 330 Gg de CO₂ equivalentes/año, este aporte representa el 4 % en el balance de emisiones/ absorciones, teniendo en cuenta que este sector es el único que presentó un balance positivo, es decir absorciones. Estas absorciones se deben principalmente a la categoría tierras forestales que son un sumidero neto de carbono atmosférico, Las principales emisiones del sector fueron de metano debidas, principalmente, a la fermentación entérica-(proceso de la digestión de los herbívoros que genera metano como subproducto (Cabrera Leal, et al.2010)).de los bovinos lecheros (AMVA-UPB, 2013).

Las emisiones de GEI de fuentes agregadas y emisiones de gases no-CO₂ fueron aproximadamente 61 y 63 Gg de CO₂ equivalente/año en 2009 y 2011, respectivamente. De este valor, 94% correspondieron a emisiones de N₂O debidas a la fertilización de tierras de cultivo y pastizales, lo cual sugiere que la actividad representa una importante fuente de emisiones de GEI en el Valle de Aburrá. (AMVA-UPB, 2013).

6.2.2 Emisiones en el Sector Residuos

Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) procedentes de las siguientes categorías de acuerdo a la metodología IPPC vigente:

- Eliminación de desechos sólidos (Capítulo 3)
- Tratamiento biológico de los desechos sólidos (Capítulo 4)
- Incineración e incineración abierta de desechos (Capítulo 5)

- Tratamiento y eliminación de aguas residuales (Capítulo 6)

El sector Residuos, fue el sector de menor participación dentro del inventario, en términos de emisiones de CO₂ equivalente, ocupando el cuarto lugar después de los sectores Energía, Procesos industriales y uso de productos (IPPU) y Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU), con una contribución del 1,29% en el 2009 y del 0,9% en el 2011. (AMVA-UPB, 2013).

De acuerdo a la evaluación por tipo de gases, el metano es el componente dominante, el cual aporta 75% en 2009 y 57% en 2011. La “Disposición de residuos sólidos” es la categoría que más contribuye con las emisiones de gases de efecto invernadero dentro del sector, con una variación del 71% en 2009 al 51% en 2011, debido al comportamiento decreciente de las emisiones de metano en el relleno sanitario Curva de Rodas, clausurado en el 2003 (AMVA-UPB, 2013).

6.2.3 Emisiones Sector Procesos Industriales y Uso de Productos

Las emisiones de gases de efecto invernadero correspondientes al sector procesos industriales y uso de productos en el Valle de Aburrá son de 255,17 y 284,89 Gg de CO₂ equivalente para los años 2009 y 2011 respectivamente; con una participación a las emisiones totales del inventario para el Valle de Aburrá de 5,23% para el 2009 y 5,76% para el 2011. (AMVA-UPB, 2013)

La categoría dentro del sector procesos industriales que tuvo la mayor participación en las emisiones dentro del sector, es la categoría 2D, uso no energético de combustibles y solventes con un aporte del 59,71% y 55,52% para los años 2009 y 2011 respectivamente. (AMVA-UPB, 2013).

Los gases de efecto invernadero con mayores emisiones debido a los procesos industriales y al uso de productos son en orden de importancia el dióxido de carbono (CO₂) y los hidrofluorocarbonos y perfluorocarbonos HFC/PFC principalmente el HFC-134a. Por el contrario, se presentan pocas emisiones de metano, hexafluoruro de azufre

y óxido nitroso debido a la naturaleza de los procesos industriales llevados a cabo dentro del valle de Aburrá (AMVA-UPB, 2013).

6.2.4 Emisiones del Sector Energía

El sector energético es el más importante en los inventarios de gases de efecto invernadero (GEI), ya que normalmente representa el 90 % de las emisiones de CO₂ y el 75 % del total de emisiones de GEI.

El CO₂ normalmente contribuye con el 95 % de las emisiones del sector energía, el otro 5% de las emisiones, se compone típicamente del metano (CH₄) y el óxido de nitrógeno (N₂O). (AMVA-UPB, 2013).

La combustión estacionaria normalmente representa un 70% de las emisiones de gases de efecto invernadero del sector energético. Alrededor de la mitad de estas emisiones se relaciona con la combustión de las industrias de la energía, principalmente de las centrales eléctricas y las refinerías. La combustión móvil (el tránsito terrestre y otro) provoca alrededor de un tercio de las emisiones del sector energético (IPCC, 2006).

Las emisiones de gases de efecto invernadero correspondientes al sector energía del valle de Aburrá para los años 2009 y 2011 son de 4347 y 4406 en Gg de CO₂ equivalentes respectivamente, que corresponde con el 89% del total de emisiones para ambos años. (AMVA-UPB, 2013).

Las categorías de fuente pertenecientes a las actividades de quema de combustible aportan más del 99% del total de emisiones del sector energía, lo cual demuestra la escasa relevancia de las emisiones asociadas con las categorías de fuente fugitivas, que hace referencia a la suma de las emisiones procedentes de descargas accidentales, fugas de los equipos, pérdidas durante el llenado, quema en antorcha, almacenamiento, venteo y cualquier otra emisión directa, con excepción de las que provienen del uso de combustible. (IPCC, 2006).

Huella de carbono en el Valle de Aburrá

En el valle de Aburrá, tanto para 2009 como para 2011, las categorías de fuente del transporte terrestre representan el 68 % del total de emisiones y por lo tanto son las que más aportan al inventario de emisiones, con un total de 3016 y 3060 Gg de CO₂ equivalentes respectivamente. Le sigue en importancia las categorías de fuente de las industrias manufactureras y de la construcción, con un aporte de alrededor del 22%. En cuanto al aporte de los distintos gases, las emisiones del sector energía están dominadas por el CO₂ que representa el 98% del total de emisiones.

Tabla 2. Resumen Emisiones GEI (valores en Gg de CO₂ equivalente) y precursores (Gg) para los años 2009 y 2011, por sector en el valle de Aburrá.

Sector	CO ₂ neto		CH ₄		N ₂ O		SF ₆		HFC		PFC		Total	
	2009	2011	2009	2011	2009	2011	2009	2011	2009	2011	2009	2011	2009	2011
Energía	4.246,3	4.298,41	38,98	45,14	61,67	62,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4.346,96	4.405,92
IPPU	216,02	235,35	0,21	0,00	8,80	8,53	0,68	1,35	29,44	39,20	0,04	0,46	255,19	284,89
AFOLU	-454,74	-486,01	103,86	99,26	54,09	57,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-296,79	-329,49
Residuos	1,44	1,43	47,35	25,50	14,15	17,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	62,94	44,55
Total	4.099,0	4.049,18	190,40	169,90	138,71	145,78	0,68	1,35	29,44	39,20	0,04	0,46	4.368,27	4.405,88

Fuente: (AMVA-UPB, 2013)

7 METODOLOGÍA

7.1 Cálculo de la tasa de absorción del Dióxido de Carbono (CO₂)

La tasa de absorción de carbono por tipo de cobertura se calculó de acuerdo a las categorías de tierras propuestas por el IPCC: Forestales, Tierras Agrícolas, Praderas, Humedales, Asentamientos y Otras Tierras, se usó como insumo el mapa más actualizado de coberturas terrestre metodología *Corine Land Cover (CLC)* disponible para el departamento de Antioquia (IGAC - GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA, 2007. Estudio Integral de Suelos y Coberturas Terrestres Departamento de Antioquia.) y el mapa de zonas de vida para Antioquia de acuerdo con Espinal (1985). El proceso entonces consistió en reclasificar el mapa de coberturas de Antioquia de acuerdo con las categorías del IPCC, y para el caso de los bosques clasificarlos además de acuerdo a su zona de vida.

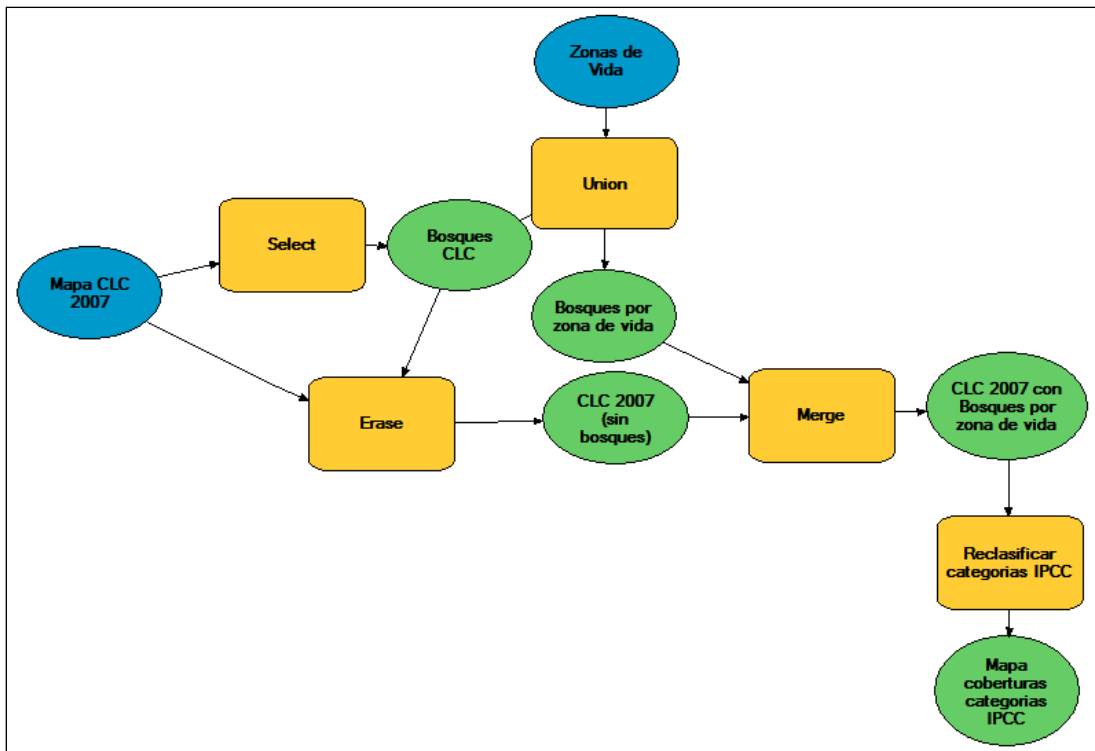


Figura 18. Reclasificación mapa coberturas CLC de acuerdo a categorías IPCC
Fuente: Elaboración propia

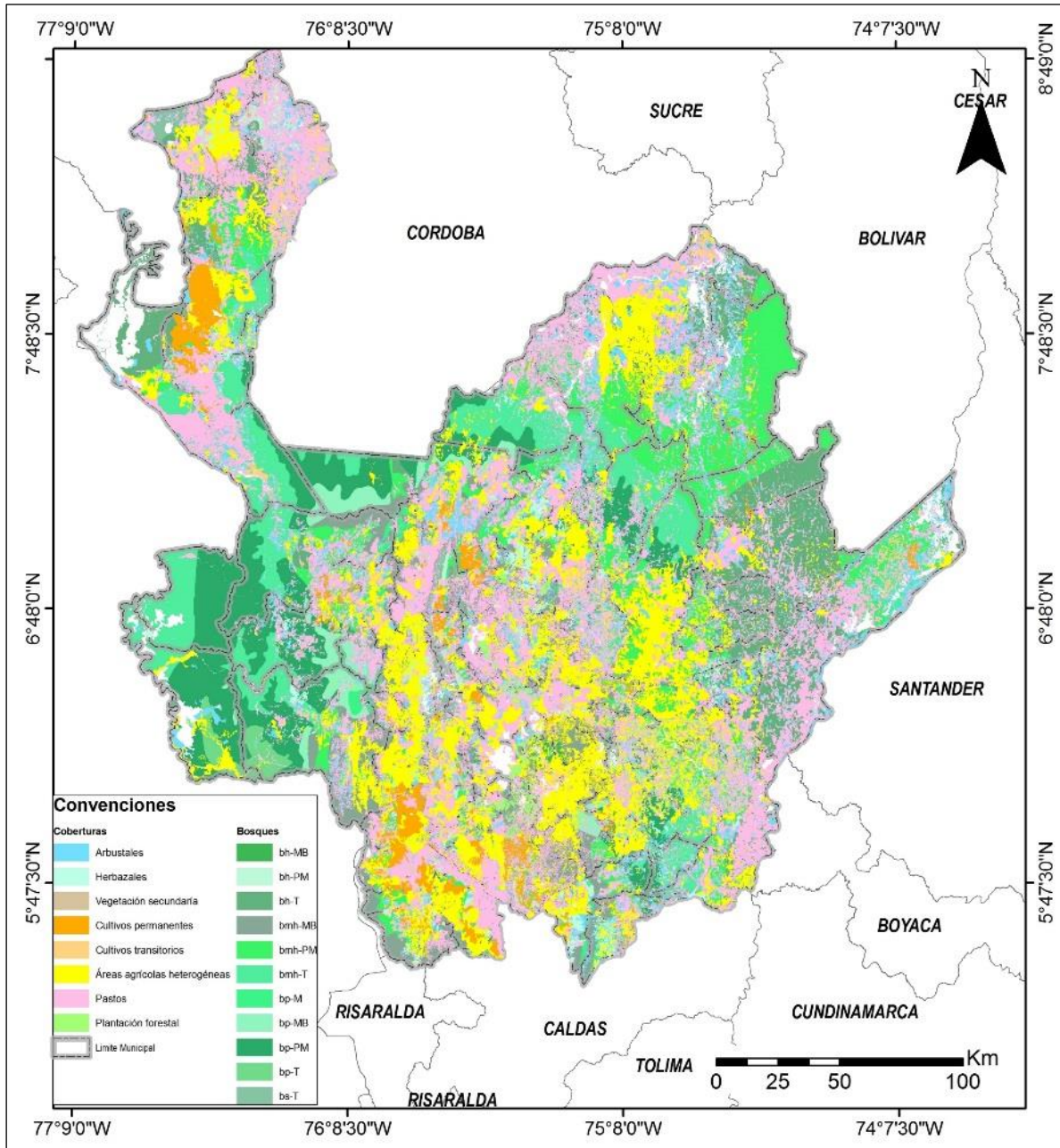


Figura 19. Mapa de Coberturas terrestres categorías IPCC
 Fuente: Elaboración propia a partir del Mapa de coberturas terrestres IGAC- GOBANT (2007).

Para la determinación de la absorción de dióxido de carbono por tipo de cobertura se usaron los estimativos encontrados por Yepes, et al., IDEAM, 2010 de captura por tipo

de cobertura (Tabla 3) los cuales fueron elaborados y/o adaptados específicamente para Colombia.

El paso de Carbono a CO₂, se realizó usando el factor de corrección 3, 66666, que proviene de dividir el peso atómico de la molécula de CO₂ (**44**), por el peso atómico del carbono (**12**) de acuerdo con lo indicado por el IPCC (2003).

Tabla 3. Contenido de biomasa aérea y carbono (Ton/ha) por coberturas

Categorías IPCC	Cobertura	Biomasa área (Ton/ha)	DE*	Carbono (Ton/ha)	DE*
Bosque Natural	Bosque húmedo Montano	145,5	23,3	72,7	11,7
	Bosque húmedo Montano bajo	295,1	49	147,5	24,5
	Bosque húmedo Premontano	114,1	37,6	57	18,8
	Bosque húmedo Tropical	264,1	15,2	132,1	7,6
	Bosque muy húmedo Montano	125,5	11,2	62,7	5,6
	Bosque muy húmedo Montano Bajo	260,1	10,1	130	5
	Bosque muy húmedo Premontano	182,9	24,9	91,5	12,4
	Bosque muy húmedo Tropical	165	16,8	82,5	8,4
	Bosque muy seco Tropical	98,2	22,5	49,1	11,3
	Bosque pluvial Montano	106,4	3,8	53,2	1,9
	Bosque pluvial Montano bajo	105,3	4,8	52,6	2,4
	Bosque pluvial Premontano	213,5	24,4	106,8	12,2
	Bosque pluvial Tropical	172,2	20,2	86,1	10,1
	Bosque Seco Montano Bajo	216	64,9	108	32,5
	Bosque seco Premontano	140,7	67,8	70,3	33,9
Bosque Seco Tropical	96,2	15,5	48,1	7,8	
Tierras Forestales	Arbustales	47,5	24,7	23,8	12,4
	Plantación forestal	179,8	91	89,9	45,5
	Vegetación secundaria	39,2	8,3	19,6	4,2
Tierras Agrícolas	Áreas agrícolas heterogéneas	11,5	-	5,8	-
	Cultivos permanentes	57,8	47,5	28,9	23,8
	Cultivos transitorios	8,4	2,2	4,2	1,1
Praderas	Herbazales	28,2	35,7	14,1	17,9
	Pastos	12,7	15,5	6,4	7,8

Categorías IPCC	Cobertura	Biomasa área (Ton/ha)	DE*	Carbono (Ton/ha)	DE*
Humedales	Superficies de agua	0	-	0	-
	Vegetación acuática	0	-	0	-
Asentamientos	Áreas urbanizadas	0	-	0	-
Otras tierras	Otras áreas sin vegetación	0	-	0	-
	Zonas quemadas	0	-	0	-

*DE: Desviación estándar

Fuente: Yepes, et al., IDEAM, 2010.

7.2 Cálculo de la huella de carbono

Para el cálculo de la huella de carbono, se usaron los datos provenientes del actual inventario de GEI que se llevó a cabo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá para los años 2009-2011. La Figura 20, expresa las unidades de masa utilizadas en los análisis de emisiones de carbono.



Figura 20. Unidades de masa usadas en los inventarios de gases de efecto invernadero

Fuente: Elaboración propia

La huella de carbono, es expresada por algunos autores como el valor percapita de las emisiones estimadas para un territorio de acuerdo con sus consumos, y por otros como el área necesaria para que esas emisiones sean absorbidas.

En cualquiera de los casos, es necesario contar con el número de habitantes para el territorio analizado, en el caso del valle de Aburrá, se habla de 3.821.890 millones de habitantes de acuerdo a la proyección realizada por la gobernación de Antioquia al año 2016. Teniendo entonces este dato, se procede a realizar el cálculo percapita de

emisiones de GEI, y el dato percapita del área necesaria para la absorción de las mismas por habitante.

7.3 Balance de emisiones/ coberturas

El balance de emisiones / coberturas, es un indicador de sostenibilidad, que mide la eficiencia de las coberturas de un territorio para la absorción de las emisiones que el mismo emite en un momento dado, se analiza entonces las emisiones para un año, y se usan las absorciones teóricas que puedan tener el arreglo espacial de coberturas del territorio analizado en ese mismo año o uno relativamente cercano.

$$\text{Balance emisiones/cobertura} = \frac{\text{Emisiones GEI año1}}{\text{Absorciones teóricas GEI para el año1}}$$

Para este estudio, se usaron las emisiones del año 2009 y el mapa de coberturas terrestres disponible para el valle de Aburrá y el departamento de Antioquia del año 2007.

En este análisis, se usó el concepto de región tributaria o ecorregión: La delimitación de la ecorregión, es decir la región tributaria, se realiza a partir de los servicios ecosistémicos que abastecen el área metropolitana y lógicamente los ecosistemas (región tributaria) que los proveen, que son en principio las áreas desde las cuáles se “importa” la sostenibilidad ecológica. (Agudelo, 2007)

Bajo este concepto y bajo el supuesto teórico, que los ecosistemas circunscritos administrativamente en el departamento de Antioquia, prestan el servicio ecosistémico de regulación- captación de dióxido de carbono para la subregión del valle de Aburrá, se usó la misma ecuación para el papel de las coberturas para analizar el papel de cada una de las subregiones en la absorción de las emisiones de GEI en el valle de Aburrá que presenta la mayor concentración de habitantes en el departamento el (58 %).

8 TASAS DE ABSORCIÓN DEL DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) COMO GAS DE EFECTO INVERNADERO POR TIPO DE COBERTURA TERRESTRE EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA PARA EL AÑO BASE 2007.

Los cálculos de absorción de carbono y dióxido de carbono para cada una de las categorías recomendadas por el IPCC, fueron realizados para todo el departamento de Antioquia; Posteriormente se realizó un análisis espacial tomando como unidad de análisis las subregiones del departamento de Antioquia. (Ver Anexo 2. Resultados Captura de Carbono por subregión en el departamento de Antioquia).

La distribución de las coberturas con capacidad de captura de carbono en el departamento de Antioquia para el año de estudio (2007), se pueden ver en la Figura 21, la mayor cobertura de Antioquia corresponde a los Bosques (incluyendo todos los tipos de bosques: densos, fragmentados y riparios), esta cobertura corresponde al 40% del total del departamento de Antioquia.

Entre los bosques, los de mayor representatividad en cuanto a su extensión están: El bosque muy húmedo Premontano, bosque pluvial Premontano, bosque muy húmedo Tropical y bosque húmedo Tropical (Ver Tabla 4).

El otro gran grupo de coberturas en el departamento corresponde con las tierras agrícolas y las praderas que tienen una proporción casi igual, cercana al 25 % respectivamente.

Huella de carbono en el Valle de Aburrá

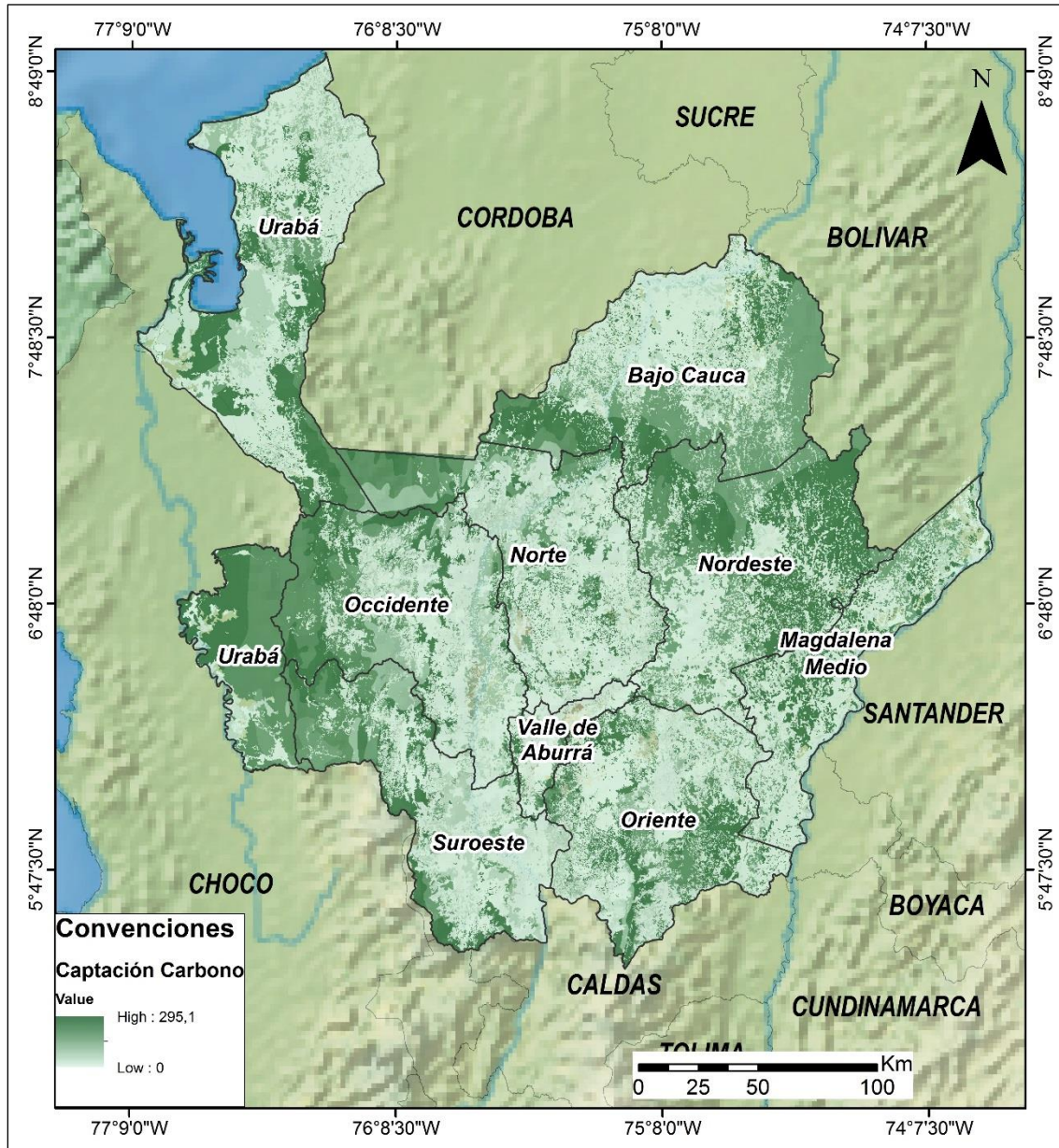


Figura 21 Almacenamiento de Carbono por coberturas en el departamento de Antioquia.
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Coberturas terrestres de acuerdo a la clasificación del IPCC en el departamento de Antioquia.

Categorías IPCC	Coberturas	Área (ha)	Área (%)	Ton C	Ton CO₂	Ton CO₂ (%)
Bosque Natural	bosque húmedo Montano Bajo	9.747,75	0,15	2.876.561,03	10.547.391,38	0,47
	bosque húmedo Premontano	45.691,13	0,72	5.213.357,93	19.115.647,49	0,85
	bosque húmedo Tropical	467.589,68	7,41	123.490.434,49	452.798.300,95	20,14
	bosque muy húmedo Montano Bajo	293.693,13	4,65	76.389.583,11	280.095.163,54	12,46
	bosque muy húmedo Premontano	644.229,87	10,21	117.829.643,22	432.042.064,43	19,21
	bosque muy húmedo Tropical	491.690,34	7,79	81.128.906,10	297.472.682,74	13,23
	bosque pluvial Montano	32.397,27	0,51	3.447.069,53	12.639.256,09	0,56
	bosque pluvial Montano Bajo	98.736,42	1,56	10.396.945,03	38.122.135,23	1,70
	bosque pluvial Premontano	517.603,46	8,20	110.508.338,71	405.197.278,77	18,02
	bosque pluvial Tropical	38.962,78	0,62	6.709.390,72	24.601.101,53	1,09
	bosque seco Tropical	61.739,26	0,98	5.939.316,81	21.777.496,96	0,97
	Tierras Forestales	Arbustales	410.275,73	6,50	19.488.097,18	71.456.362,80
Plantación forestal		34.189,07	0,54	6.147.194,79	22.539.716,26	1,00
Vegetación secundaria		658,99	0,01	25.832,41	94.718,84	0,00
Tierras Agrícolas	Áreas agrícolas heterogéneas	1.059.328,66	16,79	12.182.279,59	44.668.362,56	1,99
	Cultivos permanentes	162.611,16	2,58	9.398.925,05	34.462.728,31	1,53
	Cultivos transitorios	16.355,62	0,26	137.387,21	503.753,14	0,02
Praderas	Herbazales	64.216,74	1,02	1.810.912,07	6.640.011,52	0,30
	Pastos	1.588.052,37	25,17	20.168.265,10	73.950.312,09	3,29
Humedales	Superficies de agua	179.060,61	2,84	0	0	0,00
	Vegetación acuática	2.923,93	0,05	0	0	0,00

Categorías IPCC	Coberturas	Área (ha)	Área (%)	Ton C	Ton CO ₂	Ton CO ₂ (%)
Asentamientos	Áreas urbanizadas	69.001,68	1,09	0	0	0,00
Otras tierras	Otras áreas sin vegetación	20.202,81	0,32	0	0	0,00
	Zonas quemadas	289,6	0,00	0	0	0,00
Totales		6.309.248,06		613.288.440,08	2.248.724.484,63	

Fuente: Elaboración propia con base al mapa de coberturas terrestres del IGAC (2007) para Antioquia.

El arreglo espacial de las coberturas terrestres del departamento de Antioquia, tienen un gran potencial para la captación de gases efecto invernadero, este estudio realiza un análisis referente al balance de emisiones desde el valle de Aburrá y a la potencial captación de estos gases por las coberturas presentes en el departamento, sin embargo, no se puede garantizar que efectivamente estas tasas de captura se realicen sobre las emisiones del valle de Aburrá. Los resultados de la captación de carbono, de acuerdo a las unidades de análisis seleccionadas; Señalan que las subregiones con mayores tasas potenciales de captación son Urabá y el Nordeste Antioqueño. Se destaca el potencial de captación de CO₂, por las grandes extensiones de dos coberturas: bosque muy húmedo tropical (94.897,81 ha en Urabá y 215.555,32 en nordeste), y Bosque muy húmedo Premontano (40.158,55 ha y 152.225,69 ha) en el caso de Urabá. (Ver Anexo 2. Resultados Captura de Carbono por subregión en el departamento de Antioquia).

Estos resultados son consistentes con el análisis nacional realizado por Yepes et al 2011, a nivel nacional, Los tipos de bosque que mayor capacidad de almacenar carbono de acuerdo con su biomasa área son el bosque húmedo tropical (45.377.140,32 ha- 81,29 % captaciones de CO₂ el bosque muy húmedo tropical (5.077.273,95 ha- %- 568 % de captaciones de CO₂)

De acuerdo con los datos presentados por Yepes et al 2011, la extensión del ecosistema tiene una relación directa con el potencial de almacenamiento de carbono, sin embargo el régimen de humedad hace la diferencia aumentando sustancialmente el potencial de captación; Esta apreciación es evidente en los resultados presentados

en la Tabla 4 , en donde se puede notar la diferencia entre el área y el porcentaje de almacenamiento de dióxido carbono entre el bosque húmedo montano bajo y el bosque húmedo premontano; Si bien uno de los mayores almacenamientos de carbono en el departamento de Antioquia, están dados por las captaciones que hace el bosque húmedo premontano que con un área total que representa el 10,21 % del departamento, realiza captaciones que equivalen al 19, 21 % del total de captaciones realizadas por el total de las coberturas terrestres de la zona, el bosque montano bajo que tiene un almacenamiento total de carbono equivalentes al 12, 46 % del total almacenado por las coberturas del departamento, esto frente a una extensión que tan solo representa el 4, 65 % del departamento de Antioquia. Estos resultados, destacan la importancia de los bosques alto-andinos que siempre han tenido la mirada prestadores del servicio ecosistémico de regulación hídrica este escenario muestra el potencial que tiene frente al servicio de regulación por captación de carbono.

Tabla 5. Absorción de Carbono y CO₂ por subregiones en el departamento de Antioquia

Subregión	Área coberturas captación Carbono (ha)	Carbono (Ton/Acumulada)	CO₂ (Ton/ Acumulada)
<i>Urabá</i>	1.075.094,18	58.622.905,78	214.950.654,54
<i>Nordeste</i>	836.499,41	55.660.366,46	204.088.010,37
<i>Bajo Cauca</i>	817.245,95	43.069.080,01	157.919.960,04
<i>Occidente</i>	741.881,07	37.043.882,80	135.827.570,28
<i>Norte</i>	727.791,08	30.848.817,27	113.112.329,98
<i>Oriente</i>	692.204,69	30.181.857,88	110.666.812,23
<i>Suroeste</i>	630.802,30	29.380.198,04	107.727.392,82
<i>Magdalena Medio</i>	425.371,23	18.999.431,95	69.664.583,81
<i>Valle de Aburrá</i>	90.879,50	2.913.727,78	10.683.668,52

Fuente: Elaboración propia.

9 BALANCE DE EMISIONES/COBERTURAS PARA EL VALLE DE ABURRA PARA EL AÑO 2007.

El balance de emisiones (CO₂), hace referencia al aporte que hacen las coberturas terrestres que se comportan como sumidero frente al total de emisiones que se emiten en una región determinada.

En este estudio, se analizó el comportamiento del Balance Emisiones (CO₂) /cobertura, asumiendo como posible sumidero las coberturas con capacidad de captación usando como unidad de análisis espacial las subregiones del departamento de Antioquia.

Para el cálculo del balance, se tomaron las coberturas terrestres con capacidad de captación de CO₂. Se calculó la captura de estas coberturas para el año base (2007¹⁴). Posteriormente se realizó el balance de emisiones / cobertura respecto a las emisiones del año 2009¹⁵.

9.1.1 Balance de emisiones (CO₂) /cobertura en el valle de Aburrá- Unidad de análisis subregiones de Antioquia.

Los resultados para el periodo base (mapa de coberturas 2007-2009 y emisiones años 2009) arrojan que el valle de Aburrá, solo está en capacidad de realizar la absorción del 0,26 % de sus emisiones, y si se tiene en cuenta todo el departamento de Antioquia, este tendría la capacidad de capturar tan solo el 27,44 % de las emisiones del valle de Aburrá. Las subregiones con mayores capacidades de captación de acuerdo a la composición de sus coberturas son Urabá (5,24 %), Nordeste (4,98 %) y Bajo Cauca (3,85%).

¹⁴ Este año corresponde al último mapa de coberturas terrestres disponible para el departamento de Antioquia, Y es el mismo que se utilizó para el Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del Valle de Aburrá en el año 2009, por esta razón se escoge para el balance el año 2009 y no el 2011.

¹⁵ (Publicado en: Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Universidad Nacional de Colombia y Universidad Pontificia Bolivariana. (2014). Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del Valle de Aburrá, años 2009 y 2011. Medellín-

Huella de carbono en el Valle de Aburrá

Tabla 6. Balance de emisiones (CO₂) para el Valle de Aburrá y el aporte de las subregiones de Antioquia en la absorción de las emisiones.

Subregión	CO₂ (Gg Ton/Ha)	Balance emisiones Cobertura para el Valle de Aburra (%)
<i>Urabá</i>	214,95	5,24
<i>Nordeste</i>	204,09	4,98
<i>Bajo Cauca</i>	157,92	3,85
<i>Occidente</i>	135,83	3,31
<i>Norte</i>	113,11	2,76
<i>Oriente</i>	110,67	2,70
<i>Suroeste</i>	107,73	2,63
<i>Magdalena Medio</i>	69,66	1,70
<i>Valle de Aburrá</i>	10,68	0,26
Total	1.124,64	27,44

Fuente: Elaboración propia.

Huella de carbono en el Valle de Aburrá

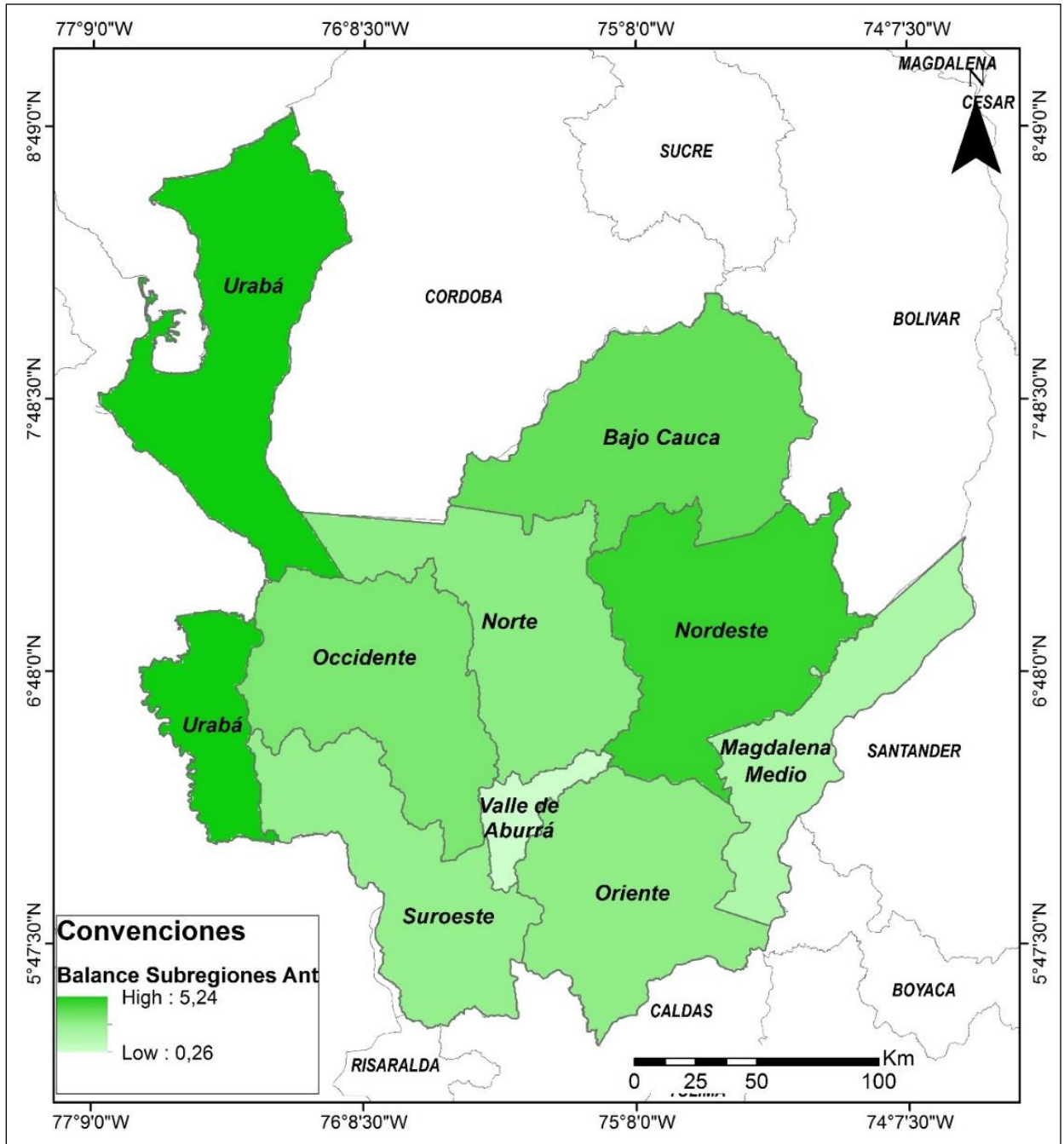


Figura 22. Balance emisiones /cobertura
Fuente: Elaboración propia.

10 HUELLA DE CARBONO PARA EL VALLE DE ABURRÁ EN EL AÑO 2007.

La huella de carbono per cápita de acuerdo con el número de habitantes proyectados al año 2016 en el valle de Aburrá (3.821.890 millones de habitantes) es de **1,1 Ton CO₂ por habitante**. Este valor es comparable con los reportados por el banco Mundial para Honduras (1,2 Ton CO₂ por habitante) y El Salvador (1 Ton CO₂ por habitante) en el año 2013. Honduras tiene una extensión de 112 .090 km² y 8.075.000 de habitantes, El Salvador tiene una extensión de 21.000 km² 6.127.000. Ambos países tienen extensiones y número de habitantes muy superiores al valle de Aburrá. Este comparativo da cuenta del volumen de emisiones de GEI en el valle de Aburrá.

De acuerdo con los datos presentados por IDEAM (2012) en el Inventario Nacional de GEI, en donde las emisiones netas del país corresponden a un total de 185, 6 Mton CO₂, la huella de carbono nacional es de 3,83 Ton CO₂ por habitante.

Tabla 7: Huella de carbono en el valle de Aburrá- Año 2007

Sector	Consumo Gg CO ₂	Área total requerida (ha)	Área total requerida per cápita (ha)	Capacidad de carga local (ha)	Capacidad de carga per cápita (ha)
Energía	4.246	8.020.388	2,10	85.950	0,022489
IPPU	216,02	408.016	0,116	4.897	0,001281
AFOLU	-454,74	-858.908	-0,23	0	0
Residuos	1,44	2.720	0,00	33	0,000009
Subtotal	4.009,03	7.572.216	1,98	90.880	0,023779
Bosques (sumideros)			1,98	90.880	0,023779

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 7, presenta los datos de la huella de carbono per cápita en términos de área, un habitante del valle de Aburrá requiere en promedio de 1,98 ha, para compensar las emisiones de los bienes y servicios que consume.

De acuerdo a los datos disponibles en <http://www.footprintnetwork.org/>¹⁶, Colombia tiene una huella de carbono para el año 2013 de 0,7 ha por habitante. El valor del valle de Aburrá encontrado en este estudio, es muy cercano al promedio mundial (1, 72 ha/habitante), sin embargo, es muy distante a la huella de carbono reportada para el año 1999, por Agudelo (2010) que fue de 0, 6 ha. El aumento en la huella de carbono, se explica por el aumento de las emisiones de GEI que para el periodo actual reporta un aumento del 100%.

11 MECANISMOS DE COMPENSACIÓN PARA MITIGAR LOS EFECTOS DEL CO₂ EN LA ATMOSFERA.

Las funciones ecosistémicas son definidas como “la capacidad de los ecosistemas para proveer bienes y servicios que satisfacen las necesidades humanas de forma directa e indirecta” (De Groot et al. 2002).

Los servicios ecosistémicos, se precisan como aquellos procesos y funciones de los ecosistemas que son percibidos por el ser humano como un beneficio (de tipo ecológico, cultural o económico) directo o indirecto, que incluyen aquellos de aprovisionamiento, como comida y agua; servicios de regulación, como la regulación de las inundaciones, sequías, captación de carbono; servicios de sustento como la formación del sustrato y el reciclaje de los nutrientes; y servicios culturales, ya sean recreacionales, espirituales, religiosos u otros beneficios no materiales (MADS, 2012).

De acuerdo con Martín- y Montes (2009), la principal diferencia entre las funciones y los servicios ecosistémicos, radica en que las funciones ecosistémicas existen independientemente del uso, demanda, disfrute o valoración por parte de la sociedad,

¹⁶ *Global Footprint Network* es una organización internacional sin ánimo de lucro, fundada en 2003 que ofrece métricas y herramientas para el análisis sobre el consumo y la capacidad de los recursos naturales

estas se vuelven servicios ecosistémicos sólo cuando son usadas, de forma consciente o inconsciente, por la población.

Un ecosistema puede tener múltiples funciones y múltiples servicios, los esquemas analíticos trazados entre las funciones y servicios ecosistémicas, no son rígidas y preestablecidas ya que los servicios dependen de la perspectiva de los usuarios. Martín- y Montes (2009). Este esquema de múltiples funciones y servicios se puede ejemplificar para muchos ecosistemas, por ejemplo, los bosques altoandinos reconocidos el servicio ecosistémico de regulación hídrica, tiene un gran potencial en el servicio de regulación climática (captación de carbono). Ver numeral 7.3.

Frente a los mecanismos de compensación para mitigar los efectos de los gases de efecto invernadero en el cambio climático, la firma del protocolo de Kyoto, ha llevado a los gobiernos al establecimiento de leyes y políticas para cumplir sus compromisos, a las empresas a tener en cuenta los efectos sobre el medio ambiente a la hora de tomar decisiones sobre sus inversiones, y además ha propiciado la creación del mercado del carbono.

Los mecanismos de compensación para la mitigación de los efectos de los GEI en el cambio climático, ha incluido diferentes estrategias que en algunos casos son transversales al aseguramiento de cualquier tipo de servicio ecosistémico como por ejemplo el caso del pago por servicios ambientales, que se define como una transacción voluntaria en donde un servicio ambiental definido (o ecosistema que asegurara ese servicio) es 'comprado' por al menos un comprador del servicio ambiental, a por lo menos un proveedor de este servicio ambiental sólo si el proveedor asegura la provisión del servicio ambiental transado (Wunder, 2007).

Para el caso colombiano, los pagos por servicios ambientales están regulados por el decreto ley 870 de 2017, el cual se establece el pago por servicios ambientales y otros incentivos a la conservación, y tiene un ámbito de aplicación público (se incluyen en este grupo las personas de derecho público y de carácter especial de los pueblos indígenas y demás grupos étnicos y/o privados) y privado en donde se promuevan,

diseñen o implementen proyectos de pago por servicios ambientales financiados o cofinanciados con recursos públicos y privados. Los proyectos por pagos de servicios ambientales pueden diseñarse para ejecutar el cumplimiento de las obligaciones impuestas en el marco de autorizaciones ambientales de conformidad con las normas y autorizaciones especiales que regulan el cumplimiento de estas obligaciones.

Como se mencionó anteriormente, el protocolo de Kyoto incentivó la creación de mercados de carbono, los mercados de carbono se dividen en dos tipos: los de cumplimiento regulado y los voluntarios. El mercado regulado es utilizado por las empresas y gobiernos que, por ley, tienen que rendir cuentas sobre sus emisiones de GEI. La regulación se da por regímenes obligatorios de reducción de carbono, ya sean nacionales, regionales o internacionales. El mercado voluntario funciona bajo el comercio de créditos, este se produce sobre una base facultativa. (FAO, 2010).

El protocolo de Kyoto, propone tres mecanismos para el mercado regulado, el Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL), la Ejecución Conjunta (JI)¹⁷ y el Régimen para el comercio de derechos de emisión de GEI de la Unión Europea (ETS¹⁸). Para el caso del mercado regulado, los países en desarrollo solo pueden participar del mecanismo MDL. Los proyectos bajo mecanismos MDL al pertenecer a un mercado regulado, deben seguir reglas y procedimientos unificados y sistemáticos con el fin de lograr la emisión de certificados de emisión de reducciones. (FAO, 2010).

El mercado voluntario, ha adquirido gran importancia para los proyectos agrícolas y forestales ya que a diferencia de los proyectos MDL, Los créditos de reducción verificada de las emisiones de carbono son adquiridos principalmente por el sector privado, que los adquiere por motivaciones como: La responsabilidad social corporativa, la certificación, la reputación y los beneficios ambientales y sociales. El sector privado puede comprar los créditos de carbono directamente a los proyectos de reducción de emisiones (proyectos de forestación y reforestación, proyectos de suelos agrícolas,

JI¹⁷ : Join implementation (Siglas en inglés)

¹⁸ ETS : Emissions Trading System (Siglas en inglés)

plantaciones/ monocultivos, proyectos REDD¹⁹) o de los fondos de carbono (p. ej., Fondo de Biocarbono del Banco Mundial). (FAO, 2010).

Finalmente, otro mecanismo para la mitigación del cambio climático, mediante el aseguramiento de la prestación de servicios ecosistémicos de regulación, puede ser la custodia del territorio: La custodia del territorio es una práctica de conservación que inició a finales del siglo XIX, y se ha expandido de manera creciente en Europa en los últimos 20 años. La custodia del territorio, se define como un conjunto de estrategias e instrumentos que involucran a propietarios y usuarios del territorio en la conservación y el buen uso de los recursos naturales, culturales y paisajísticos. Para alcanzar este objetivo, se promueven acuerdos y mecanismos de colaboración continua entre propietarios, entidades de custodia y otros agentes públicos y privados. (Basora Roca, X. y Sabaté i Rotés, X. 2006).

La custodia del territorio tiene otra mirada sobre la conservación ambiental²⁰, que tradicionalmente se ha realizado sobre un enfoque netamente ecosistémico, y no sobre la conservación del territorio, entendiendo el territorio como una construcción social, con un sustento geográfico que tiene particularidades semejantes tanto físicas como económicas y sociales. (Reyes, 2012)

El desarrollo de la conservación bajo un enfoque territorial acoge el concepto de socioecosistema. El desarrollo del concepto de socioecosistema es una evolución del concepto de ecosistema : Los ecosistemas, de acuerdo a la evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005), se definen como un complejo dinámico de comunidades de plantas, animales y microorganismos y el medio ambiente inorgánico

¹⁹ REDD: Proyectos para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero causadas por la deforestación y degradación de los bosques. Tiene como objeto la conservación y el incremento de las capturas de CO₂.

²⁰ Conservación ambiental: La conservación ambiental, tiene como objeto conservar ecosistemas representativos, con el fin de garantizar la oferta de servicios ambientales, además de la permanencia del medio natural, como fundamento de la integridad y supervivencia de las culturas tradicionales. (PNN, 2009)

que interactúan como una unidad funcional. Los seres humanos son parte integral de los ecosistemas.

Los ecosistemas, son entendidos como sistemas, a partir de la Teoría de Sistemas de von Bertalanffy (1968). La Teoría General de Sistemas de von Bertalanffy, enfatiza la conectividad, el contexto y la retroalimentación, es entonces como se conciben. de las partes de un sistema solo pueden ser entendidas desde la organización de éste como un todo, dado que ellas emergen de la configuración de las relaciones ordenadas que son específicas de un sistema en particular (von Bertalanffy, 1968).

Desde este enfoque sistémico y bajo el reconocimiento que los ecosistemas no funcionan de manera independiente a los sistemas sociales, nace entonces la noción de socioecosistema: Un socioecosistema es un sistema integrado de ecosistemas y sociedad humana con retroalimentaciones recíprocas e interdependencias. ***El concepto hace énfasis en la perspectiva humanos en la naturaleza.*** Es el sistema en el que interactúan los componentes culturales, políticos, sociales, económicos, ecológicos, tecnológicos, entre otros. (MADS, 2012)

Considerar entonces la conservación ambiental desde el enfoque territorial, implica cambios en los paradigmas de la conservación, pensar la conservación no solamente desde lo público, si no desde lo privado. Involucra balancear las políticas dirigidas a la conservación de los ecosistemas, con aquellas dirigidas al bienestar humano (Franco & Andrade, 2014).

La custodia del territorio, como opción para la conservación de territorios que prestan servicios ecosistémicos, implica un relacionamiento entre los diferentes actores del territorio, es decir implica la puesta en marcha de sistemas de gobernanza. Estos sistemas políticos, facilitan la cooperación y colaboración para el beneficio mutuo y un marco de entendimiento común (Armitage, 2007).

La gobernanza territorial es esencial para que los ejercicios de conservación ambiental existan sin desconocer los sistemas sociales. Es decir, desde la gobernanza territorial,

se concreta en términos prácticos el postulado teórico que involucra tanto las ciencias naturales como las ciencias sociales:

Finalmente, a manera de conclusión se insiste sobre la necesidad del enfoque territorial, en el diseño de las políticas y estrategias de conservación ambiental, para que las mismas empiecen a generar casos de éxito en la conservación, sin la vieja idea de conservación, que consistía en aislar los ecosistemas de cualquier intervención antrópica, es decir sin la necesidad de desaparecer territorios.

12 CONCLUSIONES

- La emisión de carbono per cápita para un habitante del Valle de Aburrá 2016, sería el equivalente a 1,1 ton/hab/año de CO₂ o 0,29 ton/hab/año de carbono.
- Si 500 personas pasaran del transporte privado individual al transporte público producirían al año, el efecto equivalente a tener una hectárea de bosque húmedo Premontano, la cobertura natural típica del valle de Aburrá, captando CO₂; Si 1000 personas renunciaran a la mitad de los viajes individuales, producirían el mismo efecto.
- El valle de Aburrá, solo está en capacidad de realizar la absorción del 0,26% de sus emisiones, si se tiene en cuenta todo el departamento de Antioquia, este tendría la capacidad de capturar tan solo el 27,44 % de las emisiones del valle de Aburrá. Las subregiones con mayores capacidades de captación de acuerdo a la composición de sus coberturas son: Urabá (5,24 %), Nordeste (4,98 %) y Bajo Cauca (3,85%).
- La conservación de las coberturas terrestres con capacidad de captación de carbono es importante no solamente por el servicio ecosistémico de regulación que estas prestan, sino porque sus transformaciones a coberturas con menores potenciales de captación generan impactos adversos sobre los balances de emisiones/ captación, ya que todo el carbono almacenado es liberado a la atmosfera. La deforestación es uno de los motores de transformación con mayor impacto negativo en la problemática global del cambio climático.
- Las estrategias de conservación ambiental con enfoque territorial conservan no solamente los ecosistemas como base geográfica del territorio, sino el territorio propiamente dicho desde sus dimensiones sociales, culturales, políticas, económicas y ambientales; Porque lo que se considera una mejor opción para el diseño de políticas de mitigación frente a los efectos de los gases de efecto invernadero.

Anexo 1. Emisiones GEI en el valle de Aburrá.

Tabla 8. Emisiones (signo positivo) y absorciones (signo negativo) de GEI (Gg) y precursores de GEI provenientes del sector AFOLU en el Valle de Aburrá en 2009 y 2011.

Categorías	2009					2011				
	GEI			Precursores GEI		GEI			Precursores GEI	
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	No %	CO ₂	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	No %	CO ₂
3. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra	-454,74	4,95	0,17	0,01	0,8	-486,01	4,73	0,18	0,01	0,67
3.A Ganadería	NA	4,89	NA	NA	NA	NA	4,68	NA	NA	NA
3.A. 1 Fermentación entérica	NA	4,56	NA	NA	NA	NA	4,28	NA	NA	NA
3.A.2 Manejo de estiércol	NA	0,34	NA	NA	NA	NA	0,41	NA	NA	NA
3. B Tierras	-460,11	NA	NA	NA	NA	-491,03	NA	NA	NA	NA
3.B.1 Tierras Forestales	-506,9	NA	NA	NA	NA	-537,81	NA	NA	NA	NA
3.B.2 Tierras de Cultivo	4,13	NA	NA	NA	NA	4,13	NA	NA	NA	NA
3.B. 3 Pastizales	32,61	NA	NA	NA	NA	32,61	NA	NA	NA	NA
3.B.4 Tierras inundables	0	NA	NA	NA	NA	0	NA	NA	NA	NA
3.B.5 Asentamientos	9,81	NA	NA	NA	NA	9,81	NA	NA	NA	NA
3.B.6 Otras tierras	0,22	NA	NA	NA	NA	0,22	NA	NA	NA	NA
3.C Fuentes agregadas y emisiones de gases no CO ₂ en tierras	5,38	0,05	0,17	0,01	0,01	5,02	0,04	0,18	0,01	0,67
3.C.1 Emisiones por quema de biomasa	NA	0,05	1,00E-03	0,01	0,01	NA	0,04	1,00E-03	0,01	0,67
3. C.2 Encalado	1,85	NA	NA	NA	NA	1,88	NA	NA	NA	NA

Huella de carbono en el Valle de Aburrá

Categorías	2009					2011				
	GEI			Precursores GEI		GEI			Precursores GEI	
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	No %	CO ₂	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	No %	CO ₂
3.C.3 Aplicación de Urea	3,53	NA	NA	NA	NA	3,14	NA	NA	NA	NA
3. C.4 Emisiones directas de N ₂ O de manejo de suelos	NA	NA	0,11	NA	NA	NA	NA	0,1	NA	NA
3. C.5 Emisiones indirectas de N ₂ O de manejo de suelos	NA	NA	0,06	NA	NA	NA	NA	0,08	NA	NA
3. C.6 Emisiones indirectas de N ₂ O de manejo de estiércol	NA	NA	0	NA	NA	NA	NA	0	NA	NA
3.C.7 Cultivos de arroz	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3. C.8 Otros	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3.D Otras	0	NA	NA	NA	NA	0	NA	NA	NA	NA
3.D.1 Productos de madera recolectada (PMR)	0	NA	NA	NA	NA	0	NA	NA	NA	NA
3.D.2 Otras	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

Fuente: (AMVA-UPB, 2013)

NA: No Aplica NO : No observados

Tabla 9. Emisiones de GEI del Sector Residuos en CO₂ equivalente para el 2009 y 2011.

Categorías	Código	2009			2011		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
		CO ₂ eq (Gg)					
RESIDUOS	4	1,44	47,33	14,15	1,43	25,5	17,62
Disposición de residuos sólidos	4A	NA	44,67	0	NA	22,3	0
Sitios controlados de disposición de residuos sólidos	4A1	NA	42,83	0	NA	20,99	0
Sitios no controlados de disposición de residuos sólidos	4A2	NA	1,84	NA	NA	1,31	NA
Sitios no categorizados de disposición de residuos sólidos	4A3	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Tratamiento biológico de residuos sólidos	4B	NA	0,1	0,11	NA	0,04	0,05
Preparación de abono orgánico	4B1	NA	0,1	0,11	NA	0,04	0,05
Digestión anaeróbica en instalaciones de Biogas	4B2	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Incineración e incineración abierta de residuos	4C	1,44	3,48E-03	0,05	1,43	4,67E-03	0,06
Incineración de residuos	4C1	1,44	3,48E-03	0,05	1,43	4,67E-03	0,06
Incineración abierta de residuos	4C2	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Tratamiento y eliminación de aguas residuales	4D	NA	2,57	13,99	NA	3,15	17,51
Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas	4D1	NA	2,51	13,99	NA	2,93	17,51
Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales	4D2	NA	0,07	NA	NA	0,22	NE

Fuente: (AMVA-UPB, 2013)

NA: No Aplica NO: No observados

Huella de carbono en el Valle de Aburrá

Tabla 10. Emisiones de GEI del sector “Procesos industriales y uso de productos” en giga gramos (Gg) para el 2011.

Categoría	CO ₂	CH ₄	SF ₆	N ₂ O	HFC-134a	PFC-218	HFC-125	HFC-143a
2 procesos industriales y uso de productos	235,35	NA	5,66E-05	2,87E-02	2,14E-02	6,63E-05	2,34E-04	2,98E-04
2A Industria de los minerales	58,84	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2A3 Producción de vidrio	22,57	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2A4a Otros usos de carbonatos cerámicos	35,72	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2A5 Producción de lana mineral	0,55	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2B Industria química	0,11	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2B8 Producción de metanol	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2B10a Producción de anhídrido maleico	3,85E-03	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2B10a Producción de anhídrido ifalico	1,12E-03	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2B10c Producción de fibras sintéticas	0,11	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2C industria de los metales	0,04	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2C1 Producción de hierro y acero	0,04	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2D Uso no energético de combustibles y solventes	158,16	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2D1 Lubricantes	1,19	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2D2 Ceras de parafina	0,2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2D3 Solventes	154,89	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2D4 Uso de asfalto	1,87	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2F Uso de sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono (SAO)	NA	NA	NA	NA	2,87E-02	6,63E-06	2,74E-04	2,98E-04
2F1aa Refrigeración-neveras fabricadas	NA	NA	NA	NA	6,20E-03	NA	NA	NA
2f1ab Refrigeración -aire domiciliario	NA	NA	NA	NA	1,32E-03	NA	NA	NA
2F1ba Aire acondicionado automóviles	NA	NA	NA	NA	7,67E-03	NA	NA	NA
2F1ba Aire acondicionado buses/camiones	NA	NA	NA	NA	1,66E-04	6,63E-06	2,74E-04	2,98E-04
2G Manufactura y usos de otros productos	NA	NA	5,66E-05	2,75E-02	NA	NA	NA	NA
2G1b Equipos eléctricos	NA	NA	5,66E-05	NA	NA	NA	NA	NA
2G3a Uso de N ₂ O en aplicaciones médicas	NA	NA	NA	2,50E-02	NA	NA	NA	NA
2G3b Uso de N ₂ O en aplicaciones industriales (aerosoles)	NA	NA	NA	7,25E-03	NA	NA	NA	NA
2H otros	18,19	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2H2a Industria de la alimentación	2,22	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2H2b Industria de las bebidas	15,97	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Fuente: (AMVA-UPB, 2013)

NA: No Aplica NO: No observados

Huella de carbono en el Valle de Aburrá

Tabla 11. Resumen de las emisiones del sector energía

Categorías	CO2 -eq		% Participación respecto a las emisiones totales		% Participación respecto al sector	
	2009	2011	2009	2011	2009	2011
Emisiones totales	4875,21	4943,74				
1. Energía	4346,95	4405,93	89,16	89,12	100	100
1A. Actividades de quema del combustible	4330,9	4387,28	88,84	88,74	99,63	99,58
1B. Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles	16,05	18,64	0,33	0,38	0,37	0,42
1.C Transporte y almacenamiento de dióxido de carbono	0	0	0	0	0	0

Fuente: (AMVA-UPB, 2013)

NA: No Aplica NO: No observados

Tabla 12. Emisiones de GEI asociadas al transporte terrestre en el Valle de Aburrá

Código IPCC	Categoría	Emisiones 2009 (Gg)				Emisiones 2011(Gg)			
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq
1A3bi1	Automóviles de pasajeros con catalizadores tridireccionales	414,48	0,145	0,04	431,31	384,33	0,13	0,04	399,93
1A3bi2	Automóviles de pasajeros sin catalizadores tridireccionales	1229,5	0,62	0,05	1259,38	1342,93	0,83	0,06	1379,3
1A3bii1	Camiones para pasajeros con catalizadores tridireccionales	5,12	2,00E-03	1,00E-03	5,33	1,2	4,20E-04	1,29E-04	1,25

Huella de carbono en el Valle de Aburrá

Código IPCC	Categoría	Emisiones 2009 (Gg)				Emisiones 2011(Gg)			
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq
1A3bii2	Camiones para pasajeros sin catalizadores tridireccionales	407,51	0,05	0,02	415,03	343,35	0,05	0,02	350,03
1A3biii	Camiones para servicio pesado y autobuses	760,07	0,08	0,04	774,33	696,29	0,08	0,04	710,5
1A3biv	Motocicletas	126,28	0,04	0,01	131,41	210,43	0,07	0,02	218,98

Fuente: (AMVA-UPB, 2013)

NA: No Aplica NO: No observados

Tabla 13. Emisiones en fuentes estacionarias en el valle de Aburrá años 2009 y 2011

Código IPCC	Categoría	Emisiones 2009				Emisiones 2011			
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq
1A2a	Hierro y acero	18,59	4,77E-04	5,83E-05	18,62	23,83	7,99E-04	1,02E-04	23,88
1A2b	Metales no ferrosos	2,01	6,38E-02	6,39E-03	5,33	43,56	1,67E-03	3,13E-04	43,69
1A2c	Sustancias químicas	104,76	9,49E-03	1,44E-03	105,4	78,05	7,79E-03	1,16E-03	78,57
1A2d	Pulpa, papel e imprenta	46,51	4,09E-03	6,35E-04	46,79	62,75	6,31E-03	9,58E-04	63,18
1A2e	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	107,98	2,30E-02	3,24E-03	109,47	200,71	2,82E-02	4,09E-03	202,57
1A2f	Minerales no metálicos	81,14	7,46E-06	1,10E-03	81,64	95,44	8,74E-03	1,32E-03	96,03
1A2h	Maquinaria	2,95	1,05E-04	1,37E-05	2,96	0,54	1,02E-05	1,10E-06	0,54
1A2j	Madera y productos de la madera	0,35	1,81E-03	2,42E-04	0,47	1,39	2,03E-03	2,70E-04	1,52
1A2k	Construcción	8,9	4,21E-04	7,87E-05	8,94	4,38	1,42E-04	2,32E-05	4,39
1A2l	Textiles y cueros	605,95	6,35E-02	9,57E-03	609,95	416,58	4,36E-02	6,53E-03	419,52
1A2m	Industria no especificada	7,88	3,08E-04	5,95E-03	7,9	0,38	8,53E-06	1,20E-06	0,38
1A4a	Comercial /institucional	59,9	4,43E-03	8,88E-05	60,02	77,14	5,78E-03	1,16E-04	77,3
1A4b	Residencial	253,34	1,32E-02	2,63E-04	253,7	311,98	2,66E-02	1,00E-03	312,71

Fuente: (AMVA-UPB, 2013)

Anexo 2. Resultados Captura de Carbono por subregión en el departamento de Antioquia

Tabla 14.. Captura de carbono y CO₂ para el año 2007 en el departamento de Antioquia.

Coberturas	Bajo Cauca			Magdalena Medio			Nordeste		
	Área (ha)	Carbono (Ton)	CO ₂ (Ton)	Área (ha)	Carbono (Ton)	CO ₂ (Ton)	Área (ha)	Carbono (Ton)	CO ₂ (Ton)
bosque húmedo Montano Bajo		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00
bosque húmedo Premontano		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00
bosque húmedo Tropical	56.293,32	7.436.347,62	27.266.607,93	81.599,70	10.779.320,42	39.524.174,87	215.555,32	28.474.857,94	104.407.812,45
bosque muy húmedo Montano Bajo	269,42	35.038,47	128.474,39		0,00	0,00	1.968,70	256.029,24	938.773,89
bosque muy húmedo Premontano	227.098,67	20.779.528,17	76.191.603,28	44.944,51	4.112.423,07	15.078.884,59	152.225,69	13.928.651,01	51.071.720,36
bosque muy húmedo Tropical	87.681,64	7.233.735,45	26.523.696,66	15.719,28	1.296.840,45	4.755.081,63	65.795,68	5.428.143,32	19.903.192,16
bosque pluvial Montano		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00
bosque pluvial Montano Bajo	4.960,59	260.927,01	956.732,39		0,00	0,00		0,00	0,00
bosque pluvial Premontano	28.811,41	3.077.058,59	11.282.548,17		0,00	0,00	43.269,30	4.621.161,64	16.944.259,34
bosque pluvial Tropical		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00
bosque seco Tropical		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00
Arbustales	91.639,62	2.176.441,08	7.980.283,98	53.658,21	1.274.382,59	4.672.736,17	36.994,30	878.614,60	3.221.586,87
Plantación forestal	50,25	4.517,41	16.563,83		0,00	0,00	310,69	27.931,44	102.415,27
Vegetación secundaria	56,07	1.099,01	4.029,70	53,67	1.051,93	3.857,08	175,74	3.444,57	12.630,10
Áreas agrícolas heterogéneas	111.729,99	642.447,47	2.355.640,73	25.784,02	148.258,11	543.613,07	150.537,52	865.590,76	3.173.832,80
Cultivos permanentes	4.247,71	122.758,77	450.115,47	3.031,02	87.596,43	321.186,91	3.619,69	104.608,93	383.566,06
Cultivos transitorios	3.080,18	12.936,77	47.434,81	6.778,92	28.471,48	104.395,44	928,65	3.900,35	14.301,27
Herbazales	1.008,69	14.222,46	52.149,03	5.218,77	73.584,64	269.810,36	2.442,92	34.445,18	126.298,99
Pastos	200.318,38	1.272.021,73	4.664.079,67	188.583,12	1.197.502,82	4.390.843,69	162.675,20	1.032.987,49	3.787.620,81
Totales	817.245,95	43.069.080,01	157.919.960,04	425.371,23	18.999.431,95	69.664.583,81	836.499,41	55.660.366,46	204.088.010,37

Huella de carbono en el Valle de Aburrá

Coberturas	Norte			Occidente			Oriente		
	Área (ha)	Carbono (Ton)	CO ₂ (Ton/Ha)	Área (ha)	Carbono (Ton)	CO ₂ (Ton/Ha)	Área (ha)	Carbono(Ton)	CO ₂ (Ton/)
bosque húmedo Montano Bajo	398,36	58.758,27	215.446,98		0,00	0,00	8.075,52	1.191.139,82	4.367.512,68
bosque húmedo Premontano	1.226,62	69.978,76	256.588,78	14.073,89	802.915,16	2.944.022,26	3.000,38	171.171,93	627.630,41
bosque húmedo Tropical	9.672,27	1.277.706,28	4.684.923,03	5.300,14	700.149,15	2.567.213,54	4.237,75	559.806,61	2.052.624,24
bosque muy húmedo Montano Bajo	64.770,98	8.423.465,55	30.886.040,37	61.574,36	8.007.746,02	29.361.735,40	78.920,36	10.263.593,22	37.633.175,13
bosque muy húmedo Premontano	51.759,00	4.735.948,61	17.365.144,90	43.846,05	4.011.913,67	14.710.350,11	42.908,41	3.926.119,51	14.395.771,54
bosque muy húmedo Tropical	17.161,32	1.415.808,58	5.191.298,11	53.287,62	4.396.228,25	16.119.503,59	44.924,27	3.706.252,11	13.589.591,08
bosque pluvial Montano	5.061,13	269.252,25	987.258,27	13.596,94	723.357,10	2.652.309,38	5.396,43	287.090,21	1.052.664,10
bosque pluvial Montano Bajo	35.177,10	1.850.315,60	6.784.490,54	22.745,87	1.196.432,94	4.386.920,78	11.222,90	590.324,44	2.164.522,96
bosque pluvial Premontano	67.219,14	7.179.004,64	26.323.017,01	116.254,32	12.415.961,46	45.525.192,03	40.591,68	4.335.191,62	15.895.702,62
bosque pluvial Tropical		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00
bosque seco Tropical	6.240,07	300.147,52	1.100.540,89	25.232,47	1.213.681,85	4.450.166,80	2.055,07	98.849,04	362.446,47
Arbustales	56.649,02	1.345.414,33	4.933.185,86	38.939,68	924.817,46	3.390.997,34	48.078,05	1.141.853,72	4.186.796,98
Plantación forestal	11.063,25	994.586,23	3.646.816,16	1.444,93	129.899,63	476.298,65	12.966,76	1.165.712,04	4.274.277,48
Vegetación secundaria	11,80	231,36	848,32	186,80	3.661,21	13.424,44	76,22	1.493,88	5.477,54
Áreas agrícolas heterogéneas	138.863,99	798.467,94	2.927.715,79	135.487,31	779.052,03	2.856.524,10	205.922,30	1.184.053,24	4.341.528,56
Cultivos permanentes	13.365,68	386.268,14	1.416.316,51	16.827,49	486.314,58	1.783.153,46	11.012,36	318.257,16	1.166.942,93
Cultivos transitorios	187,12	785,91	2.881,66	804,53	3.379,05	12.389,83	111,56	468,56	1.718,05
Herbazales	20.871,55	294.288,89	1.079.059,26	3.535,97	49.857,22	182.809,80	18.555,64	261.634,55	959.326,67
Pastos	228.092,66	1.448.388,42	5.310.757,55	188.742,68	1.198.516,03	4.394.558,78	154.149,01	978.846,21	3.589.102,78
Totales	727.791,08	30.848.817,27	113.112.329,98	741.881,07	37.043.882,80	135.827.570,28	692.204,69	30.181.857,88	110.666.812,23

Huella de carbono en el Valle de Aburrá

Coberturas	Suroeste			Urabá			Valle de Aburrá		
	Área (ha)	Carbono(Ton)	CO ₂ (Ton)	Área (ha)	Carbono(Ton)	CO ₂ (Ton)	Área (ha)	Carbono(Ton)	CO ₂ (Ton)
bosque húmedo Montano Bajo		0,00	0,00		0,00	0,00	1.273,87	187.895,12	688.948,77
bosque húmedo Premontano	7.910,43	451.290,26	1.654.730,96	18.106,08	1.032.951,82	3.787.490,02	1.373,73	78.371,13	287.360,82
bosque húmedo Tropical	33,37	4.408,12	16.163,11	94.897,81	12.536.001,11	45.965.337,41		0,00	0,00
bosque muy húmedo Montano Bajo	75.855,91	9.865.061,23	36.171.891,18		0,00	0,00	10.333,40	1.343.858,18	4.927.479,99
bosque muy húmedo Premontano	39.770,39	3.638.990,88	13.342.966,57	40.158,55	3.674.507,77	13.473.195,15	1.518,58	138.950,09	509.483,65
bosque muy húmedo Tropical	22.687,79	1.871.742,41	6.863.055,49	184.432,76	15.215.702,48	55.790.909,09		0,00	0,00
bosque pluvial Montano	8.342,77	443.835,39	1.627.396,43		0,00	0,00		0,00	0,00
bosque pluvial Montano Bajo	20.631,25	1.085.203,75	3.979.080,42	3.998,71	210.332,01	771.217,36		0,00	0,00
bosque pluvial Premontano	53.603,34	5.724.837,18	20.991.069,67	167.854,26	17.926.834,71	65.731.727,27		0,00	0,00
bosque pluvial Tropical	22.022,77	1.896.160,89	6.952.589,93	16.940,00	1.458.534,04	5.347.958,15		0,00	0,00
bosque seco Tropical	5.892,36	283.422,66	1.039.216,42	22.319,28	1.073.557,29	3.936.376,72		0,00	0,00
Arbustales	20.966,60	497.956,80	1.825.841,62	58.096,68	1.379.796,26	5.059.252,94	5.253,54	124.771,66	457.496,09
Plantación forestal	1.353,38	121.668,67	446.118,44	160,65	14.442,14	52.954,52	6.839,16	614.840,23	2.254.414,18
Vegetación secundaria	11,00	215,60	790,55	87,69	1.718,68	6.301,83		0,00	0,00
Áreas agrícolas heterogéneas	143.297,26	823.959,26	3.021.183,96	118.996,02	684.227,11	2.508.832,73	28.710,24	165.083,88	605.307,54
Cultivos permanentes	57.122,88	1.650.851,17	6.053.120,97	52.094,73	1.505.537,76	5.520.305,10	1.289,60	37.269,49	136.654,81
Cultivos transitorios	74,43	312,60	1.146,22	4.378,05	18.387,81	67.421,96	12,16	51,07	187,24
Herbazales	7.741,13	109.149,98	400.216,58	4.198,30	59.195,98	217.051,92	643,77	9.077,10	33.282,71
Pastos	143.485,22	911.131,17	3.340.814,30	288.374,62	1.831.178,83	6.714.322,36	33.631,47	213.559,83	783.052,71
Totales	630.802,30	29.380.198,04	107.727.392,82	1.075.094,18	58.622.905,78	214.950.654,54	90.879,50	2.913.727,78	10.683.668,52

Fuente: Elaboración propia

13 BIBLIOGRAFÍA

1. Agudelo, L (2000). Indicadores Territoriales de Sostenibilidad, La Huella Ecológica del área Metropolitana del Valle de Aburrá.
2. Agudelo, L (2007). —Sostenibilidad ecológica urbana. Lo global y lo local regional. (ponencia), Seminario internacional: La Globalización neoliberal y la planeación urbano-regional. Perspectivas para América Latina. Agosto 23 y 24. Universidad Nacional de Colombia—Sede Medellín.
3. Agudelo, L (2010). La ciudad sostenible, dependencia ecológica y relaciones regionales. Un estudio de caso en el Área Metropolitana de Medellín. Colombia. Universidad Nacional de Colombia,
4. AMVA (2006). *Formulación del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Regional del Valle de Aburrá - PGIRS Regional. Convenio No 325 de 2004 AMVA, CORANTIOQUIA, UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA, AINSA*. Marzo de 2006. Medellín.
5. Aragao L, Malhi Y, Metcalfe DB, Silva-Espejo JE, Jiménez E, Navarrete D, Almeida S, Costa ACL, Salinas N, Phillips OL, Anderson, LO, Alvarez E, Baker TR, Goncalvez PH, Huamán-Ovalle J, Mamani-Solórzano M, Meir P, Monteagudo A, Patiño S, Peñuela MC, Prieto A, Quesada CA, Rozas-Dávila A, Rudas A, Silva Jr JA, Vásquez R. 2009. Above- and below-ground net primary productivity across ten Amazonian forests on contrasting soils. *Biogeosciences*, 6: 2759-2778.
6. Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Universidad Nacional de Colombia y Universidad Pontificia Bolivariana. (2014). *Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del Valle de Aburrá, años 2009 y 2011*.Medellín.
7. Armitage, D. (2007). “Building resilient livelihoods through adaptive co-management. The role of adaptive capacity”. En Armitage, D., Berkes, F. y N. Doubleday [Ed.] (2007). *Adaptive Co-Management: Collaboration, Learning, and*

- Multi-Level Governance (Sustainability and the Environment). Vancouver: UBC Press, p. 62-82.
8. Banco Mundial (2013). Emisiones de CO₂ (toneladas métricas per cápita). Centro de Análisis de Información sobre Dióxido de Carbono, División de Ciencias Ambientales del Laboratorio Nacional de Oak Ridge. Tennessee, Estados Unidos.
 9. Basora Roca, x., Sabaté i Rotés, x, (2006.) Custodia del territorio en la práctica. Manual de introducción a una nueva estrategia participativa de conservación de la naturaleza y el paisaje. Fundación Territori i Paisatge – Obra Social Caixa Catalunya, Xarxa de Custòdia del Territori
 10. Cabrera Leal, M; Gutiérrez, M; Duarte, M; Pedraza, A; Lamprea, P; Lozano, R. (2010). Capítulo uno: visión general del inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero. IDEAM. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/40860/214237/capitulo1.pdf/dc4d6c8e-5bce-42b5-8ea2-e413ae824735>
 11. Cardona, M. (2007). Ordenamiento y manejo integral del territorio metropolitano del Valle de Aburrá, con énfasis en el recurso agua. *Producción + Limpia* 1 (2), 9-27.
 12. Clark DA. (2007). Detecting tropical forests responses to global climatic and atmospheric change: current challenges and a way forward. *Biotropica*, 39 (1): 4-19.
 13. Chave J, Condit R, Lao S, Caspersen JP, Foster RB, Hubbell SP. (2003). Spatial and temporal variation of biomass in a tropical forest: results from a large census plot in Panama. *Journal of Tropical Ecology*, 91: 240-252.
 14. De Groot, R.S., Wilson, M., Boumans, R., (2002). A typology for the description, classification and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41 (3), 393–408.

15. Espinal T., Luis Sigifredo. (1985) Geografía Ecológica del Departamento de Antioquia (Zonas de Vida (Formaciones Vegetales) del Departamento de Antioquia). Revista Facultad Nacional de Agronomía, [S.l.], v. 38, n. 1, p. 5-106., ISSN 2248-
16. Fernández-Reyes, R. (2015). La Comunicación De La Huella De Carbono Como Herramienta Ante El Cambio Climático. Retrieved February 9, 2017, from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=199536848033>
17. FAO. (2016.) El Estado de los bosques del mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra. Roma.
18. FAO. (2010). Las posibilidades de financiación del carbono para la agricultura, la actividad forestal y otros proyectos de uso de la tierra en el contexto del pequeño agricultor. Roma.
19. FAO (2001) Agroforestería para la Producción Animal en América Latina - II - Memorias de la Segunda Conferencia Electrónica
20. Figueroa Clemente M.E y Redondo Gómez Susana (2007). Los sumideros de CO₂. Una estrategia sostenible entre el cambio climático y el protocolo de Kyoto desde las perspectivas urbana y territorial.
21. Franco Vidal, L., & Andrade, G. I. (2014). Buscando Respuestas en un Entorno Cambiante: Capacidad Adaptativa para la Resiliencia Socio-Ecológica de los Sistemas Nacionales de Áreas Naturales Protegidas Lima (Perú).
22. García-Nieto, A. P., M. García-Llorente, I. Iniesta-Arandia, and B. Martín-López. (2013). Mapping forest ecosystem services: From providing units to beneficiaries. *Ecosystem Services* 4:126-138
23. Gobernación de Antioquia (Gobant). Departamento Administrativo de Planeación. Anuario Estadístico de Antioquia(2016) [Recurso electrónico] Medellín: Departamento Administrativo de Planeación, 2016.

24. IDEAM. (2004). Cambio climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Recuperado
25. IDEAM. (2007). Información técnica sobre el cambio climático y los gases de efecto invernadero. Bogotá.
26. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería. (2016). Inventario nacional y departamental de Gases Efecto Invernadero –Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia.
27. IGAC - Gobernación de Antioquia. (2007). Estudio Integral de Suelos y Coberturas Terrestres Departamento de Antioquia.
28. Intergovernmental Panel On Climate Change - IPCC. (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, Institute for Global Environmental Strategies (IGES). 610 pp
29. Intergovernmental Panel On Climate Change – IPCC. (2006.) IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. y Tanabe K. (eds). Published by: IGES, Japón.
30. Intergovernmental Panel On Climate Change – IPCC. (2015) Ficha informativa del IPCC: Fechas y momentos destacados de la historia del IPCC. Disponible en: http://www.ipcc.ch/news_and_events/docs/factsheets/FS_timeline_es.pdf
31. Intergovernmental Panel On Climate Change – IPCC. (2017) Actividades del IPCC Disponible en: http://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml
32. Gitay H, Suárez A, Watson RT, Dokken DJ, editors. (2002.) Cambio climático y biodiversidad. Ginebra (Suiza): Universidad Nacional de Australia, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (Cuba), University Corporation for Atmospheric Research y Banco Mundial. p. 85.

33. Martín-López, B., Gómez-Baggethun, E., y Montes, C. (2009). Un marco conceptual para la gestión de las interacciones naturaleza-sociedad en un mundo cambiante. Cuaderno Interdisciplinar de Desarrollo Sostenible CUIDES 3: 229-258.
34. Malhi Y, Baker TR, Phillips OL, Almeida S, Álvarez E, Arroyo L, Chave J, Czimczik C, Di Fiore A, Higuchi N, Killeen TJ, Laurance SG, Laurance WF, Lewis SL, Mercado- Montoya LM, Monteagudo A, Neill DA, Núñez-Vargas P, Patiño S, Pitman SAC, Quesada CA, Salomao R, Masedo-Silva JN, Torres-Lezama A, Vásquez-Martínez R, Terborgh J, Vinceti B, Lloyd J. (2004). The above-ground coarse wood productivity of 104 Neotropical forest plots. *Global Change Biology*, 10: 563-59
35. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible -MADS (2012).Política Nacional Para La Gestión Integral de La Biodiversidad y Sus Servicios Ecosistémicos - PNGIBSE-. Instituto Alexander Von Humboldt.
36. MEA. (2005). Los Ecosistemas y el Bienestar Humano: Humedales y Agua, informe de síntesis. Washington, DC: Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. World Resources Institute.
37. Naciones Unidas. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
38. Naciones Unidas. (1998). Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
39. Phillips OL, Gentry AH. (1994). Increasing turnover through time in tropical forest. *Science*, 263: 954-958.
40. REPÚBLICA DE COLOMBIA, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Decreto 870 de 2017 Por el cual se establece el Pago por Servicios Ambientales y otros incentivos a la conservación.
41. Smith R & T Smith (2001) Ecología. Cuarta edición. Pearson educación S.A. Madrid. 664 pp

42. Turner T J., (2015). Zooplankton fecal pellets, marine snow, phytodetritus and the ocean's biological pump, *Progress in Oceanography*, Volume 130, Pages 205-248, ISSN 0079-6611, <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.08.005>.
43. Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., & Melillo, J. M. (1997). Human Domination of Earth's Ecosystems. (J. M. Marzluff, E. Shulenberger, M. Alberti, G. Bradley, & C. Ryan, Eds.) *Science*, 277(5325), 494–499. doi:10.1126/science.277.5325.494
44. Von Bertalanffy, L. (1968). *General Systems Theory: Foundations, Development, Applications*. New York: George Brazillier.
45. Wunder, S. (2007), *The Efficiency of Payments for Environmental Services in Tropical Conservation*. *Conservation Biology*, 21: 48–58.
46. University Corporation for Atmospheric Researches. *Ciclo del carbono*: Disponible en <https://www2.ucar.edu/>
47. Yepes, A., Navarrete D.A., Phillips J.F., Duque, A.J., Cabrera, E., Galindo, G., Vargas, D., García, M.C y Ordoñez, M.F. (2010). *Estimación de las emisiones de dióxido de carbono generadas por deforestación durante el periodo 2005-2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM. Bogotá D.C., Colombia. 32 pp.
48. Yepes-Quintero, Adriana, Duque-Montoya, Álvaro J., Navarrete-Encinales, Diego, Phillips-Bernal, Juan, Cabrera-Montenegro, Edersson, Corrales-Osorio, Adriana, Álvarez-Dávila, Esteban, Galindo-García, Gustavo, García-Dávila, María C., Idárraga, Álvaro, & Vargas-Galvis, Diana. (2011). *Estimación de las reservas y pérdidas de carbono por deforestación en los bosques del departamento de Antioquia, Colombia*. *Actualidades Biológicas*,33(95), 193-208. Retrieved June 05, 2017.