



UNIVERSIDAD
SANTO TOMÁS
TUNJA

VIIOLANA WINEBOGADOR - DISEÑO 1712

WORKING PAPER

Cálculo de la capacidad de captura de CO₂ y análisis multitemporal de la cobertura vegetal en la vereda El Carmen en la Serranía de las Quinchas, municipio de Otanche, Boyacá

*Paula Valentina Acevedo, Stiven Hernando Borda,
Daniel Felipe Guerrero, Laura Valentina Jiménez,
Nicolás Martínez Rojas, Lina Patricia Vega, Iván Pirazán*





WORKING PAPER

Cálculo de la capacidad de captura de CO₂ y análisis multitemporal de la cobertura vegetal en la vereda El Carmen en la Serranía de las Quinchas, municipio de Otanche, Boyacá

*Paula Valentina Acevedo, Stiven Hernando Borda,
Daniel Felipe Guerrero, Laura Valentina Jiménez,
Nicolás Martínez Rojas, Lina Patricia Vega, Iván Pirazán*



WORKING PAPER.

Autores: Paula Valentina Acevedo, Stiven Hernando Borda,
Daniel Felipe Guerrero, Laura Valentina Jiménez, Nicolás
Martínez Rojas, Lina Patricia Vega, Iván Pirazán

Tamaño: 17 x 24 / 38 Páginas.

ISBN: 978-628-7603-60-8

COMITÉ EDITORIAL

Fr. José Fernando MANCIPE, O.P.
Rector

Fr. José Gregorio HERNÁNDEZ TARAZONA, O.P.
Vicerrector Académico

Fr. José Arturo RESTREPO RESTREPO, O.P.
Vicerrector Administrativo-Financiero

Fr. Sergio Andrés MENDOZA VARGAS, O.P.
Decano de División de Arquitectura e Ingenierías

Luz Angela CUÉLLAR RODRÍGUEZ
Decana de Facultad Ingeniería Ambiental

Diana Mireya AYALA VALDERRAMA
Directora Unidad de Investigación e Innovación

Juan Carlos CANOLES VÁSQUEZ
Director Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación

Primera edición, 2023
ISBN: 978-628-7603-60-8

Corrección de Estilo:
Yessica Chiquillo Vilardi

Todos los derechos reservados conforme a la ley. Se permite la reproducción citando fuente.
El pensamiento que se expresa en esta obra, es exclusiva responsabilidad del autor y no compromete la ideología de la Universidad Santo Tomás.

Diagramación: Jeison Arley Amaya González D.G.
Impresión: Búhos Editores Ltda.



Ediciones Usta
Universidad Santo Tomás
2022
Departamento Ediciones Usta Tunja
Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja

*Queda prohibida la reproducción parcial o total de este libro por cualquier proceso reprográfico o fónico, especialmente por fotocopia, microfilme, offset o mimeógrafo.
Ley 23 de 1982.*

Contenido

Cálculo de la capacidad de captura de CO₂ y análisis multitemporal de la cobertura vegetal en la vereda El Carmen en la Serranía de las Quinchas, municipio de Otanche, Boyacá.....	5
1. Introducción.....	8
2. Estado del arte.....	11
3. Metodología.....	13
3.1 Área de estudio.....	14
3.2 Área de parcelas y ubicación.....	15
3.3 Medición de árboles.....	16
3.4 Estimación de la biomasa.....	17
3.5 Conversión de la biomasa aérea a toneladas de carbono equivalente.....	19
3.6 Análisis multitemporal.....	20
4. Análisis y resultados.....	21
4.1 Estimación de la biomasa y CO ₂ equivalente.....	21
4.2 Análisis Multitemporal.....	22
4.3 Índice normalizado NDVI.....	32
5. CONCLUSIONES.....	35
6. REFERENCIAS.....	36

Cálculo de la capacidad de captura de CO₂ y análisis multitemporal de la cobertura vegetal en la vereda El Carmen en la Serranía de las Quinchas, municipio de Otanche, Boyacá

Paula Valentina Acevedo^a, Stiven Hernando Borda^b, Daniel Felipe Guerrero^c, Laura Valentina Jiménez^d, Nicolás Martínez Rojas^e, Lina Patricia Vega^f, Iván Pirazán^g

^a Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja, paula.acevedo@usantoto.edu.co, <https://orcid.org/0000-0003-1756-2168>

^b Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja, stiven.borda@usantoto.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-2472-5626>

^c Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja, daniel.guerrerop@usantoto.edu.co,

^d Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja, laura.jimenezm@usantoto.edu.co, <https://orcid.org/0000-0001-5834-6774>

^e Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja, nicolas.martinezr@usantoto.edu.co, <https://orcid.org/0000-0001-5541-0072>

^f Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja, lina.vega@usantoto.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-5184-5383>

^g Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja, ivan.pirazan@usantoto.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-6250-4162>

Resumen

El cambio de coberturas y uso del suelo es un proceso dinámico, originado por acción del hombre, que cada vez genera tanto la pérdida de la cobertura boscosa como la disminución en cantidad y calidad del recurso hídrico y suelo. La presente investigación realiza un estudio multitemporal para determinar los cambios de las coberturas de los suelos y usos durante los años 2002, 2012 y 2018 en la Serranía de las Quinchas. Se analizan las propiedades del área que se determinan mediante el programa ArcGIS, y la metodología Corine Land Cover (CLC) adaptada en Colombia por el instituto de estudios meteorológicos y ambientales (IDEAM) y aunado a la medición del índice de vegetación normalizada (NDVI). Con estas herramientas se analizan los cambios en las coberturas vegetales de pastos, distintos tipos de bosques, cultivos y vegetación secundaria, lo cual determinó si los cambios encontrados en la densidad de vegetación tienen correlación con la captura de carbono. Se parte de un sustento metodológico y analítico teniendo en cuenta un aporte al uso adecuado del suelo, la protección del ecosistema vinculando directamente a las comunidades presentes en el área de estudio y, de esta manera, fortalecer las actividades económicas sostenibles como el bioturismo y la protección de la Serranía de las Quinchas.

Palabras clave: Captura de CO₂, coberturas vegetales, biomasa, análisis multitemporal, deforestación, Serranía de las Quinchas.

Abstract

The change in land cover and land use is a dynamic process, caused by human action, which is increasingly evident, generating both the loss of forest cover and the decrease in quantity and quality of water and soil resources. The present investigation carries out a multitemporal study to determine the changes in land cover and uses during the years 2002, 2012 and 2018 in the Quinchas mountain range, analyzing the properties of the area that are determined through the ArcGIS software, and uses the Corine Land Cover (CLC) methodology adapted in Colombia by the Institute of Meteorological and Environmental Studies (IDEAM) and coupled with the measurement of the normalized vegetation index (NDVI), with which changes in the vegetation cover of pastures, different types of forests, are analyzed. crops and secondary vegetation, which determined whether the changes found in vegetation density are correlated with carbon sequestration. Of a methodological and analytical support, taking into account a contribution to the adequate use of the soil, the protection of the ecosystem, directly linking the communities present in the study area, thus strengthening sustainable economic activities such as biotourism, thus strengthening the protection of the Quinchas mountain range.

Keywords: CO₂ capture, vegetation cover, biomass, multitemporal analysis, deforestation, Quinchas mountain range

1. Introducción

Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) son una preocupación global, por ser un gas de efecto invernadero que contribuye al cambio climático al atrapar el calor en la atmósfera e intercambiarlo continuamente entre los océanos, la biosfera y la geosfera (Vergara et al., 2017). Este contaminante se emite de forma natural a través de procesos como la respiración de los seres vivos y las erupciones volcánicas, pero también es liberado en grandes cantidades por la actividad humana, especialmente por la quema de combustibles fósiles en la producción de energía y en el transporte. Para el año 2016 las emisiones totales de CO₂ del mundo fueron de 36.300 millones de toneladas, siendo China y Estados Unidos los dos países con mayores niveles de emisión (Díaz, 2020). Sin embargo, a lo largo de los años, Estados Unidos ha sido uno de los países en los que se ha tenido más éxito en la reducción de sus emisiones de dióxido de carbono, lo que se debe principalmente a su mayor uso de fuentes de energía renovables y gas natural, en donde China a su vez se ha propuesto generar progreso significativo en la reducción de sus emisiones de dióxido de carbono desde 2013, cuando experimentó una tasa de emisión máxima de 10 mil millones de toneladas por año (Díaz, 2020).

Los bosques son un sumidero de carbono, ya que los árboles absorben CO₂ de la atmósfera a través de la fotosíntesis y queda atrapado en forma de biomasa. La biomasa es un material orgánico que es creado por las plantas y los animales, que incluye los tejidos vivos o recientemente muertos de plantas, animales y microorganismos y puede mantenerse mediante la conservación de los bosques, o utilizarse para generar bienes de consumo o combustibles para producir calor o electricidad. (Clough et al., 2018). La capacidad de captura de CO₂ en la biomasa de un bosque en pie generalmente se mide mediante las toneladas de CO₂ equivalente por hectárea, o toneladas métricas de CO₂ equivalente por hectárea, que se abrevia como T/ha o MT/ha (Poorter et al., 2015). Cuantos más árboles haya, más CO₂ absorben y almacenan en sus troncos, ramas, hojas y raíces. Lamentablemente la capacidad del mundo para absorber CO₂ está disminuyendo por la tala y quema indiscriminada de los bosques y se está llegando al punto en que se deben reducir nuestras emisiones o enfrentar las consecuencias inminentes del calentamiento global (Waring et al., 2020).

Los análisis multitemporales son una herramienta importante en el estudio de los bosques y su evolución a lo largo del tiempo, mediante la comparación de imágenes satelitales o aéreas de una misma área en diferentes momentos, con lo que se reconocen los cambios y las tendencias en la cobertura vegetal, la calidad del suelo, la distribución de agua, entre otros aspectos (Zambrano et al., 2018). Para ello, se utilizan técnicas como la detección de cambios en la vegetación y el índice de vegetación normalizada (NDVI), lo que proporciona información sobre la presencia y densidad de la vegetación en la imagen. Asimismo, este tipo de análisis sirven para evaluar la efectividad de políticas y programas diseñados para reducir las emisiones de CO₂, comparando imágenes de satélite de diferentes épocas para evaluar si las políticas de reforestación o la transición a fuentes de energía renovable han tenido un impacto en la reducción de las emisiones (Zambrano et al., 2018).

Cabe destacar que las características territoriales manejan diferentes metodologías, las cuales consisten en determinar las variables como lo son las bases de desarrollo, recolección de datos y rectificación de la información, puesto que lo suministrado por Landsat y NDVI evidencia las comparaciones temporales, cartográficas, socioeconómicas, agrícolas, entre otras (Abaunza et al., 2015). En este estudio se realizó un análisis multitemporal con base en el uso del suelo y en los índices de vegetación de diferencia normalizada, a partir de imágenes satelitales en la vereda El Carmen, en la zona de amortiguación del Parque Natural Regional Serranía de las Quinchas (PNRSQ), con base en imágenes suministradas por las bases de datos Landsat, SIGOT y IGAC.

En Colombia, se han realizado numerosos estudios con el fin de proponer nuevos modelos y metodologías que permitan estimar la biomasa aérea de los bosques tanto a nivel regional como nacional, debido a la necesidad de comprender y evaluar la capacidad de almacenamiento de carbono, comprendiendo la contribución a la captura de gases de efecto invernadero y su aporte a la mitigación del cambio climático (Perea, 2018). El presente artículo tiene como objetivo contribuir a la información analítica, metodológica, geoespacial y multitemporal de la zona de estudio en el Parque Natural Regional Serranía de las Quinchas, con el fin de tomar decisiones adecuadas en el ardimiento territorial para su correcta administración y manejo. De esta manera, se busca generar conciencia y

brindar información pertinente para la conservación del ecosistema, realizando una compensación al medio ambiente afectado sin dejar de lado el componente social, especialmente aquellas comunidades que dependen directamente de actividades económicas como la agricultura y la ganadería.

En ese sentido, a partir de los datos obtenidos por diversas técnicas y enfoques como la teledetección, inventarios forestales y modelos estadísticos, se han desarrollado prototipos para bosques de montaña, tropicales y manglares; lo que permite recopilar información detallada sobre la estructura de este tipo de ecosistemas y determina la influencia de la biomasa para identificar el impacto de las actividades humanas, como la deforestación y degradación. Los resultados de dichos estudios han establecido que los bosques tropicales aproximadamente contienen el 80 % del carbono almacenado en la vegetación, estos controlan el clima y el ciclo global, puesto que el carbono es almacenado a través de un proceso natural denominado la fotosíntesis, el cual es destinado para la determinación de la biomasa aérea (MINAMBIENTE, 2018).

2. Estado del arte

Análisis multiespectral mediante imágenes Landsat para identificación de zonas degradadas en el área circundante a la Laguna de Tota departamento de Boyacá.

Héctor Fernando, 2015.

Gran parte de los ecosistemas naturales de Colombia se han transformado y degradado debido a actividades como la deforestación por cultivos ilícitos, el uso insostenible y la sobreexplotación de la producción agroindustrial; esta rápida alteración de los ecosistemas vírgenes ha resultado en la pérdida de la biodiversidad, la disminución de la calidad y cantidad de los recursos hídricos, la cual se ve reflejada en la degradación del suelo. Por lo tanto, en este cuadro de deterioro, es necesario encontrar nuevas formas de manejo del suelo que no se consideren 'in situ'. En ese sentido, este proyecto tiene como objetivo analizar las áreas degradadas, cubriendo un área de influencia mayor a los 10 km circundantes, donde por medio de 7 bandas espectrales y sus respectivas combinaciones, se pretende determinar la relación entre estas, analizando a través de las imágenes satelitales Landsat, versión 5 y 7 respectivamente, el daño que se ha

generado en suelo en los últimos años (González y Fernando, 2015). Asimismo, busca identificar áreas que cubren básicamente las partes bajas y medias degradadas, dando prioridad a las de mayor grado de aprovechamiento, ya que estas representan una mejor calidad del suelo. En cuanto a la profundidad y a las características climáticas, estas áreas brindan mayores beneficios para el óptimo crecimiento y desarrollo de las especies de vegetación nativa, por lo que estas zonas son más aptas para todo tipo de manejo forestal y agrícola (González y Fernando, 2015).

Análisis multitemporal de las coberturas vegetales en el área de influencia de las minas de oro ubicadas en la parte alta del sector de Maltería en Manizales, Colombia. Gloria Yaneth Flórez-Yepes; Alejandro Rincón-Santamaría; Pablo Santiago Cardona; Angela María Alzate-Álvarez, 2017.

Actualmente uno de los métodos más utilizados para estudiar los impactos ambientales a lo largo de los años son los sistemas de información geográfica, ya que estos dan a conocer la evolución de los ecosistemas mediante los análisis multitemporales; en el caso de este artículo, hablamos de las zonas con mayor influencia del sector ganadero y minero, los cuales representan los impactos más relevantes del sector (Flórez et al., 2017). Por consiguiente, esta investigación partió de la utilización y digitalización de fotografías aéreas entre los años 1998 y 2010 con el fin de realizar comparación con los diferentes periodos de tiempo. Asimismo, se obtuvieron imágenes de Google Earth con su debido georeferenciamiento para así poder generar el procesamiento en el programa ArcGIS, donde se establecieron tanto las variaciones de las coberturas vegetales como la influencia de las actividades productivas sobre las áreas boscosas (Flórez et al., 2017). Sin embargo, los innumerables impactos ambientales que se han presentado por las necesidades humanas, han producido una gran urgencia en abordar tecnologías novedosas que permitan generar una buena planificación para dichos problemas, como es el caso de la utilización de la teledetección y los SIG para permitir estudiar y analizar los entornos a diferentes escalas espaciales y temporales, por lo que estos, se han convertido en una herramienta muy importante para dar información acerca del área de estudio, su proyección de uso y su posible manejo (Flórez et al., 2017).

3. Metodología

El cálculo de la capacidad de captura de dióxido de carbono (CO₂) y el análisis multitemporal de la cobertura vegetal son elementos fundamentales para comprender y evaluar el impacto ambiental en áreas naturales protegidas. En este contexto, el presente artículo tiene como objetivo principal analizar la capacidad de captura de CO₂ y realizar un análisis multitemporal de la cobertura vegetal en la vereda El Carmen, ubicada en la Serranía de las Quinchas, municipio de Otanche, Boyacá, por medio de una metodología que incluye varios pasos clave como se observa en la Figura 1.

En primer lugar, se lleva a cabo la determinación de las áreas de parcelas, con el fin de identificar las zonas más representativas y relevantes para el estudio, por lo tanto, se establecen las selecciones para la ubicación de las parcelas utilizando técnicas de muestreo adecuadas y garantizando que la muestra sea distintiva. Posteriormente, se procede a realizar la delimitación física de las parcelas en el terreno, estableciendo límites claros y precisos, marcando los árboles seleccionados para asegurar la identificación correcta durante las mediciones.

Finalmente, la información recopilada en campo será procesada y analizada utilizando técnicas estadísticas y herramientas de análisis apropiadas, permitiendo obtener resultados significativos que contribuyan a la comprensión y evaluación del impacto ambiental en la vereda El Carmen, así como a la identificación de posibles medidas de conservación y manejo sostenible.

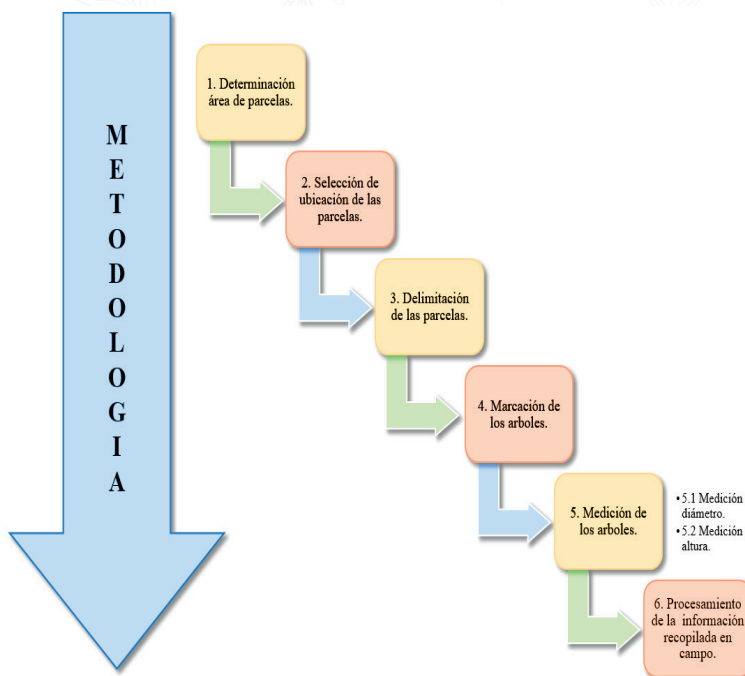


Figura 1. Metodología

3.1 Área de estudio

Para este estudio se realizó un trabajo de campo en el municipio de Otanche en el departamento de Boyacá, en la vereda El Carmen perteneciente a la Serranía de las Quinchas. Los datos fueron recolectados en una parcela establecida dentro del área de distribución seleccionada (ver Figura 1). El área de estudio comprende un área total de 2500 m². Esta área se trazó teniendo en cuenta la norma que establece que se toma $\frac{1}{4}$ de hectárea para que los datos sean aceptados y se luego se extrapola al área total de la zona de estudio. Esta parcela no se escogió de forma aleatoria, sino que se buscó un sitio con poca intervención antrópica, para tomar los datos como indicativos de la potencialidad de zonas conservadas para a captura de carbono. Debido a los costos de desplazamiento y la dificultad de la topografía de la región, así como las limitaciones de la investigación solo se midió una parcela, pero se sugiere utilizar un mayor número de estas para que sean totalmente representativas del área de estudio

3.2 Área de parcelas y ubicación

La determinación del tamaño de la parcela es un factor crítico en la estimación precisa de la biomasa aérea y el carbono almacenado en los bosques. En el contexto colombiano, se recomienda el uso de parcelas con dimensiones estándar de 50 metros x 50 metros para obtener estimaciones confiables y representativas de carbono. Esta recomendación se basa en la consideración de varios factores, como la variabilidad espacial de los bosques, la heterogeneidad de la vegetación y la precisión necesaria en las estimaciones de los estudios. Asimismo, la adopción de un tamaño de parcela estándar permite la comparación y agregación de datos entre diferentes áreas o proyectos, lo que a su vez facilita el análisis y las evaluaciones coherentes (Tovar et al., 2019).

Es importante destacar que, aunque el tamaño de la parcela estándar es ampliamente utilizado, puede haber variaciones en función de los parámetros específicos de la investigación y la escala de estudio deseada. Dado que cada bosque posee características particulares, es necesario realizar adaptaciones en el tamaño de las parcelas para reflejar adecuadamente la heterogeneidad y la variabilidad local, lo que implica considerar las condiciones específicas y ajustar el tamaño de las parcelas en consecuencia (Tovar et al., 2019).

En los proyectos de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los bosques (REDD), la selección de la ubicación de las parcelas desempeña un papel crítico. Estos proyectos tienen como objetivo principal reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la deforestación y degradación forestal. Para lograrlo, es esencial seleccionar las parcelas de manera aleatoria y evitar áreas con cambios significativos en los contenidos que se van a monitorear, lo que ayuda a reducir el sesgo y aumentar la precisión de las estimaciones de carbono (Hernández, 2016). Además, al adoptar estrategias que representen la variabilidad y la heterogeneidad presentes en la región, se puede obtener una visión más completa y precisa de la capacidad de captura de CO₂ y de los cambios en la cobertura vegetal (Romo, 2018).

La delimitación precisa de las parcelas es fundamental para estimar la biomasa aérea y el carbono en los bosques. Para lograr mediciones comparables y consistentes, se utiliza la georreferenciación de las

parcelas mediante el sistema de posicionamiento global (GPS) con las coordenadas WGS 84 como estándar, lo que permite registrar con precisión cada uno de los vértices de la zona de estudio y conocer la posición exacta de las parcelas (Londoño, 2022). Además del uso de GPS, se emplean herramientas como cintas métricas, estacas, drones, sistemas de teledetección y brújulas para garantizar el trazado correcto de los límites y ángulos requeridos en el diseño específico de la delimitación (Londoño, 2022).

3.3 *Medición de árboles*

La marcación permite identificar y medir los árboles que serán incluidos en las mediciones de biomasa y carbono, por lo que tienen características específicas que incluyen todos aquellos que tienen un diámetro mayor de 20 centímetros y 1,30 metros de altura del suelo para evitar la variabilidad producida por las diferentes formas del terreno (Álvarez et al., 2021). Esta medida asegura que los árboles sean lo suficientemente grandes para contribuir al almacenamiento de carbono y ser comparable entre diferentes estudios. A continuación, se presentan las ecuaciones correspondientes para las mediciones

$$D = \frac{CAP}{\pi} \text{ Ecuación 1}$$

Donde:

D = diámetro (cm)

CAP = perímetro medido en campo (cm)

$$H = D * (\text{Tan}(\alpha) + \text{Tan}(\beta)) \text{ Ecuación 2}$$

Donde:

H: altura del árbol

α = Ángulo positivo

β = Ángulo negativo

3.4 Estimación de la biomasa

El procesamiento de información relevante involucra la conversión de las medidas características de los árboles respecto a la biomasa y carbono, a partir de ecuaciones alométricas que se desarrollan por las mediciones de campo y factores específicos, con el fin de calcularlos para sumar las estimaciones y obtener una totalidad para el área de estudio (Hernández, 2016). Sin embargo, es importante tener en cuenta que los valores pueden variar según el tamaño de la parcela y las distintas características de los árboles en la región, por lo que es necesario llevar un registro detallado de los datos y el procesamiento de la información para garantizar la consistencia y la calidad de las estimaciones, por medio de la creación de bases de datos y la documentación detallada de los métodos y las ecuaciones utilizadas (Perea, 2018). En la siguiente tabla se tiene la ecuación alométrica utilizada para el cálculo de la biomasa en bosques naturales de árboles con diámetro mayor a 10 cm

La ecuación usada es (IDEAM, 2011):

$$\ln(BA) = a + B1\ln(D^2 * H * \rho) \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

BA= Biomasa aérea (kg/parcela)
B₁, a= Son constantes del modelo
D= Diámetro (cm)
H= Altura (m)
ρ= Densidad madera (g/cm³)

La biomasa aérea en las parcelas forestales se determina por medio del cálculo de la biomasa individual de cada árbol para obtener la totalidad de la parcela en toneladas por hectárea, en donde el factor de conversión depende del tamaño del terreno, puesto que se aplica multiplicando el valor total aérea por el factor correspondiente (Hernández et ál., 2017), como se establece en (IDEAM, 2011).

Para el cálculo de la biomasa en toneladas por hectárea, se utilizó la siguiente ecuación, en donde el factor de conversión puede variar dependiendo de la metodología o estándares específicos del sitio

de estudio como lo es la región geográfica y las características del bosque en particular (Hernández et al., 2017).

$$BA \left(\frac{kg}{par} \right) * \left(\frac{1t}{1000kg} \right) * FC = BA \left(\frac{t}{ha} \right) \text{ Ecuación 4}$$

Donde:

$BA \left(\frac{kg}{par} \right)$ = Biomasa aérea total de la parcela en kilogramos

$BA \left(\frac{t}{ha} \right)$ = Biomasa aérea en toneladas por hectárea

FC = Factor de conversión correspondiente al tamaño de la parcela

3.5 Conversión de la biomasa aérea a toneladas de carbono equivalente

La conversión de la biomasa aérea evalúa el almacenamiento de carbono en los bosques y otros ecosistemas terrestres, donde se estima el impacto producido tanto por el cambio del uso de la tierra como por la deforestación en las emisiones de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, el contenido de carbono en los árboles puede variar según la especie, la edad, la densidad y las condiciones ambientales, por lo que su capacidad oscila desde un 45 % hasta un 50 % (Spracklen y Righelato, 2016).

Para calcular el almacenamiento que tiene la biomasa aérea, se utiliza un factor de conversión de 0.5 que es una estimación general utilizada en estudios y evaluaciones a nivel global, puesto que establece el potencial de captura y almacenamiento de carbono de un bosque en particular (Spracklen y Righelato, 2016). La fórmula utilizada es:

$$CO_2 = BAT \left(\frac{t}{ha} \right) * 0.5 \text{ Ecuación 5}$$

La conversión del carbono en CO_2 es una equivalencia técnica utilizada en la comparación de emisiones de gases de efecto invernadero en una sola unidad de medida, en donde el potencial de calentamiento global PCG de cada gas indica la capacidad de retención calorífica en la atmósfera (Zuluaga y Castro, 2018). Por lo tanto, en el caso del carbono almacenado en bosques, se emplea un factor de

conversión a partir del peso atómico y el peso específico del carbono en relación con el CO₂, lo que significa que, por cada tonelada de C almacenada en las parcelas forestales, se considera que se ha evitado la emisión de 3.67 toneladas del contaminante (Zuluaga y Castro, 2018); por lo que la fórmula empleada para dicho cálculo del dióxido de carbono equivalente es la siguiente:

$$CO_2e = CO_2\left(\frac{t}{ha}\right) * 3.67 \text{ Ecuación 6}$$

De esta manera, se calcula cuánto en promedio almacena el bosque en $\frac{t}{ha}$, ayudando a estimar el impacto de las actividades forestales en la mitigación del cambio climático y gestionando estrategias reducciones de emisiones tanto a nivel nacional como internacional (FAO, 2016).

3.6 *Análisis multitemporal*

Al evaluar los cambios que se han presentado en la vereda El Carmen respecto a su cobertura vegetal y a los usos del suelo, se recolectaron una serie de datos respecto a la zona de estudio, donde fue necesario la implementación de imágenes satelitales Landsat-7, SIGOT y IGAC, escala 1:100.000, las cuales son especialmente utilizadas para el monitoreo de la vegetación, aplicaciones geológicas y estudio de los recursos naturales. En ese sentido, dichas imágenes fueron procesadas por medio del software ArcGIS en un sistema geodésico de coordenadas geográficas WGS 1984, donde se pudo determinar la longitud y latitud de la vereda, las cuales corresponden a -74.232596 y 5.8000954 respectivamente. Por lo tanto, se utilizaron las técnicas Corine Land Cover y los índices de vegetación normalizada (NDVI) de la cual permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las propiedades de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de las imágenes del satélite, para la construcción de mapas de cobertura a diferentes escalas, mediante la combinación de los colores principales RGB (Red, Green, Blue), generando unos shapets del municipio analizado, en este caso Otanche.

Por consiguiente, se generó un análisis multitemporal mediante la comparación de mapas con diferentes periodos de tiempo que permite estimar los cambios que se han presentado en las coberturas anteriormente clasificadas, deduciendo de esta manera la evolución del medio natural o demostrando las posibles repercusiones que

ha dejado la acción humana sobre este medio. Por lo tanto, este análisis es considerado uno de los métodos más eficaces a la hora de comparar y determinar los cambios que se generan en un lapso de tiempo. Asimismo, se identificó el índice de vegetación de diferencia normalizada proporcionando un análisis eficiente para el monitoreo de las condiciones vegetativas de la vereda El Carmen, posibilitando esquematizar la información y la dinámica en la cobertura terrestre.

4. Análisis y resultados

4.1 Estimación de la biomasa y CO₂ equivalente

En la parcela de área 0.25 m², se midió el perímetro de 150 árboles con un diámetro superior a 0.10 m. Con la ecuación 1 se pasó este valor a diámetro. Con estos datos y con apoyo del clinómetro se calculó la altura de cada uno de los árboles medidos, las cuales oscilan entre 4.5 metros y 20 metros de altura.

Teniendo en cuenta los datos de diámetro y altura, utilizando la ecuación 4, se calculó la biomasa de cada uno de los árboles y posteriormente la total.

Tabla 1. Biomasa aérea por parcela y hectárea

BIOMASA AÉREA POR PARCELA Y HECTÁREA		
BAT	55726,6	Kg/par
BAT	222,9062685	Ton/ha

La biomasa aérea obtenida total es de 222,90 T/Ha

Tabla 2. Conversión de biomasa aérea a CO₂

CONVERSIÓN DE LA BIOMASA AÉREA A CARBONO		
CO ₂	111,5	Ton/ha

Mediante la ecuación 5 se calcularon las toneladas de CO₂ almacenadas por Ha. Se obtuvo un valor de 111.5 T/Ha, lo cual es una cantidad considerable teniendo en cuenta que una empresa que produce cemento emite 0.4 toneladas de CO₂ por cada tonelada de cemento. Estos sumideros de carbono son muy significativos para

el medio ambiente y ayudan a mitigar esos impactos que generan las grandes potencias mundiales.

Tabla 3. Toneladas de CO₂ equivalente

CONVERSIÓN DEL CARBONO CALCULADO A CO ₂ EQUIVALENTE		
CO ₂ e	409,0	Ton/ha

Mediante la ecuación 6 se pasaron las toneladas de CO₂ a toneladas equivalentes de CO₂ que se dejan de emitir al conservar este bosque. De esta manera, si el bosque almacena en promedio 115 T/Ha, este debe conservarse ya que se dejarán de emitir a la atmósfera 409 T/Ha.

4.2 Análisis Multitemporal

Siguiendo con la metodología utilizada, es de suma importancia tener en cuenta cada una de las preguntas propuestas, con el fin de su desarrollo de una manera pertinente para poder ser justificadas. Con base en esto, se hizo una ubicación geoespacial del municipio de Otanche con sus veredas y una georreferenciación del área de estudio ubicada en la vereda El Carmen con coordenadas longitud: -74.232596 latitud:5.800954.

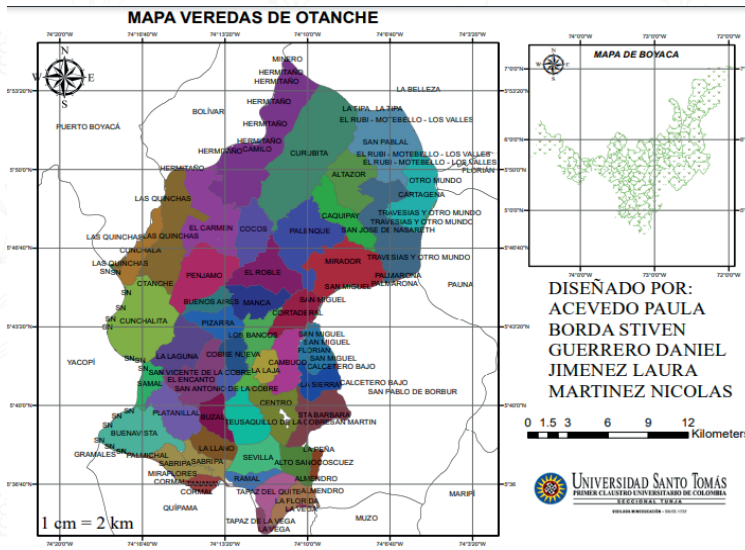


Figura 2. Ubicación geoespacial del municipio de Otanche y sus veredas

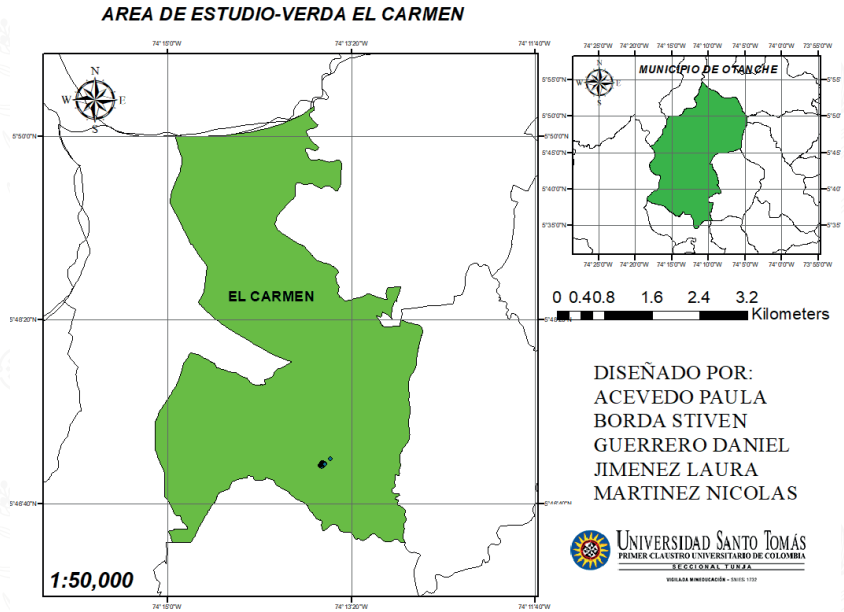


Figura 3. Ubicación geoespacial y georreferenciación del área de estudio ubicada en la vereda El Carmen.

Para el análisis multitemporal se realizó la clasificación en porcentaje de uso de suelo en los años 2002, 2012 y 2021

Tabla 4. Porcentaje de uso del suelo en el año 2002. Vereda El Carmen

Pastos limpios	1.69 %
Mosaico de pastos con espacios naturales	33.6 %
Mosaico de cultivos con espacios naturales	0.73 %
Bosque denso	36.0 %
Vegetación secundaria o en transición	21.6 %
Nubes	6.15 %
Total	99.8 %

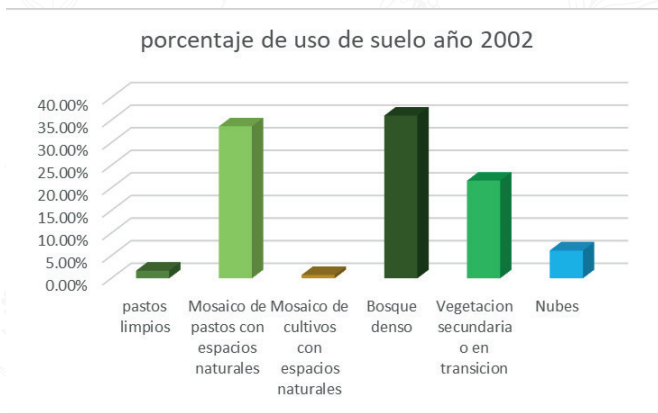


Figura 4. Clasificación en porcentaje de uso de suelo en el año 2002

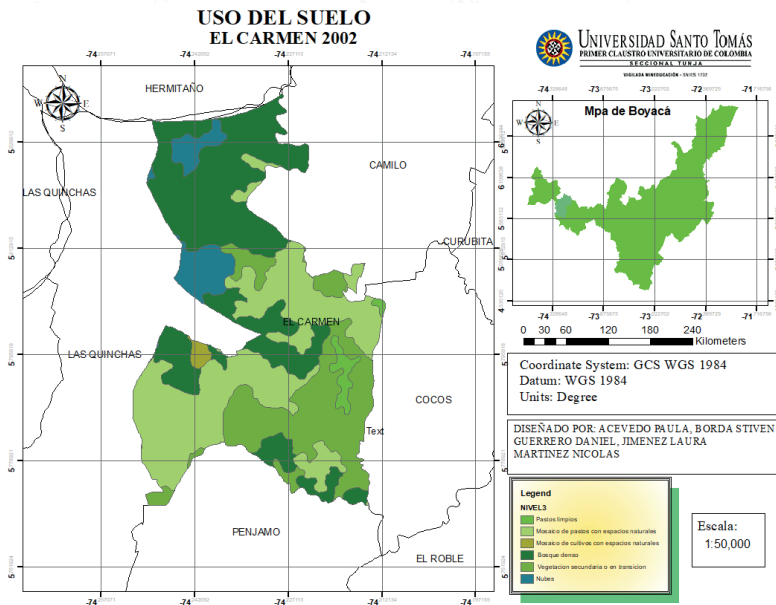


Figura 5. Uso del suelo, vereda El Carmen año 2002

De acuerdo con la Tabla 4 y las Figuras 4-5, la clasificación en porcentajes del uso de suelo en la vereda El Carmen, los dos usos que predominan esta zona son bosque denso con un 36.0 % y Mosaico de pastos con espacios naturales con un 33.6 %, por otra parte, en este año el menor uso del suelo fue Mosaico de cultivos con espacios naturales equivalente a un 0.73 %.

Tabla 5. Porcentaje de uso del suelo en el año 2012. Vereda El Carmen

Pastos limpios	0.22%
Mosaico de pastos con espacios naturales	1.65%
Mosaico de cultivos con espacios naturales	4.37%
Bosque denso	93.3%
Vegetación secundaria o en transición	0.23%
Pastos enmalezados	0.20%
Total	99.97%

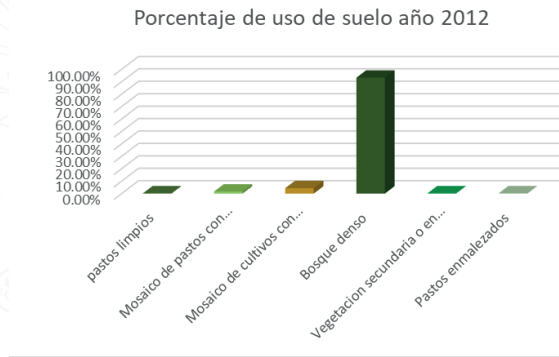


Figura 6. Clasificación en porcentaje de uso de suelo en el año 2012

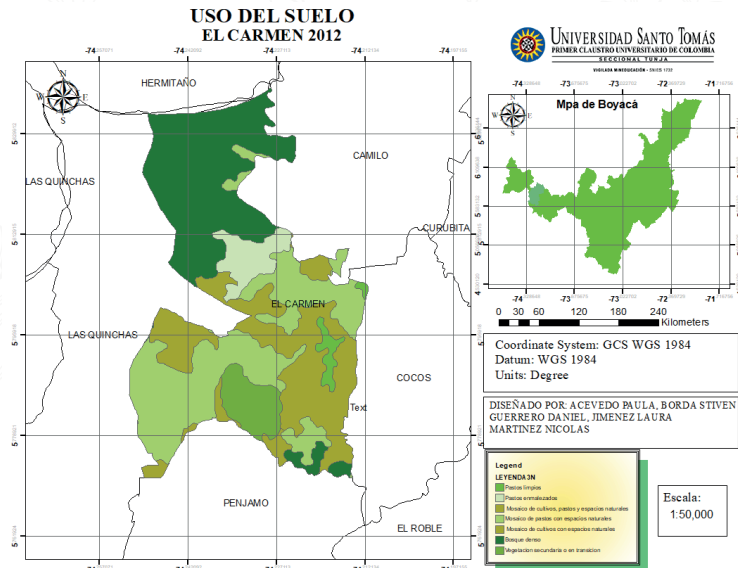


Figura 7. Uso del suelo, vereda El Carmen año 2012

Con respecto a la Tabla 5 y las Figuras 6-7, se puede identificar un cambio en la clasificación del suelo en la vereda El Carmen en el año 2012, donde se denota una reducción de porcentajes en pastos limpios, Mosaico de pastos con espacios naturales y Vegetación secundaria o en transición. Por otro lado, se puede observar el incremento en porcentaje en usos como Bosque denso y Mosaico de cultivos con espacios naturales. También se pudo determinar un nuevo uso de suelo correspondiente a pastos enmalezados con un porcentaje de 0.20 %.

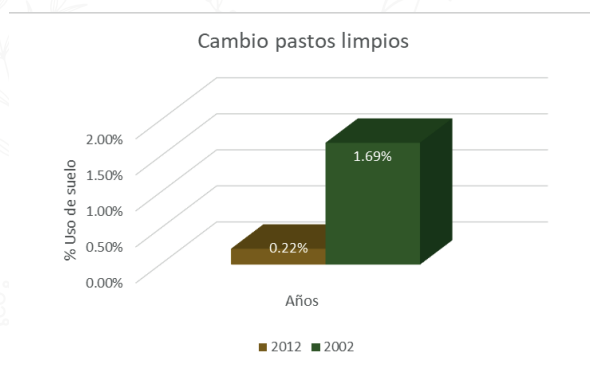


Figura 8. Cambios en los pastos limpios, 2002-2012

En la Figura 8 se observa el cambio presentado entre el año 2002 y 2012 con respecto al uso de suelo de pastos limpios, donde se puede determinar una disminución de este uso en el periodo de 2002 a 2012, la cual puede ser generada debido al uso de terrenos de pastos limpios para producciones agrícolas.

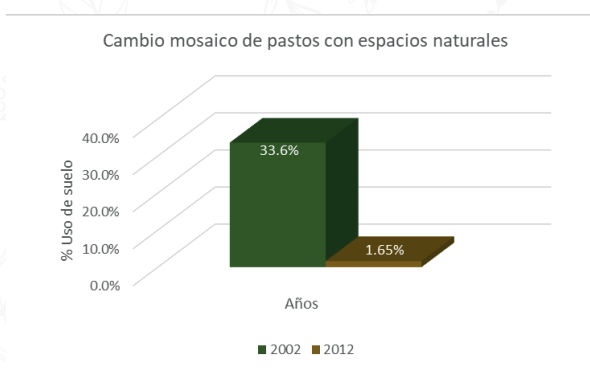


Figura 9. Cambios en mosaico de pastos con espacios naturales, 2002-2012

En la Figura 9 se observa el cambio presentado entre el año 2002 y 2012 con respecto al uso de suelo de mosaico de pastos con espacios naturales, donde se puede determinar una disminución debido a la producción de agricultura.

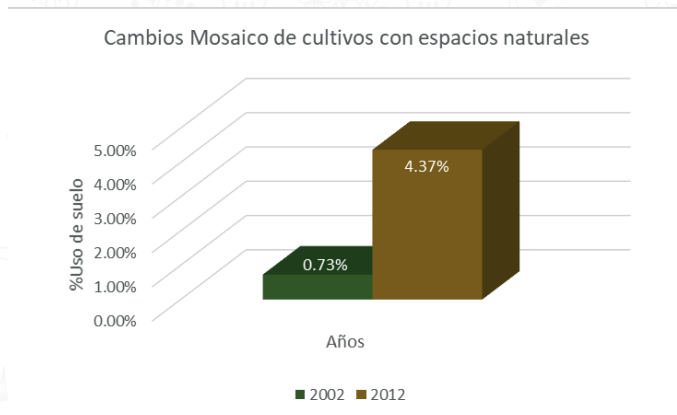


Figura 10. Cambios en mosaico de cultivos con espacios naturales

En la Figura 10 se observa el cambio presentado entre el año 2002 y 2012 con respecto al uso de suelo de mosaico de cultivos con espacios naturales, donde se puede identificar el crecimiento de los cultivos provocado por los habitantes de esta área debido a que es uno de los principales factores de producción.

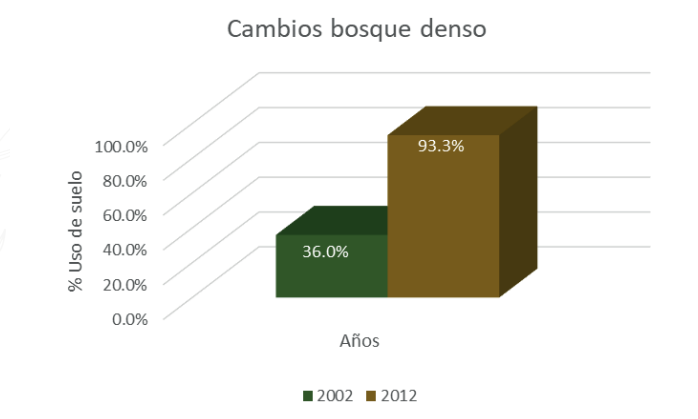


Figura 11. Cambios en bosque denso, 2002-2012

En la Figura 11 se observa el cambio presentado entre el año 2002 y 2012 con respecto al uso de suelo de bosque denso, donde se pudo registrar un aumento de bosque denso esto debido a que esta área de estudio se conoce como zona de conservación y de preservación.

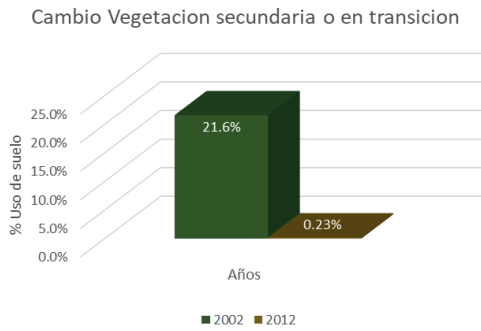


Figura 12. Cambios en Vegetación secundaria o en transición, 2002-2012

En la figura 12 se observa el cambio presentado entre el año 2002 y 2012 con respecto al uso de suelo de Vegetación secundaria o en transición, donde se pudo identificar la disminución con respecto al porcentaje, esto debido a la transición de vegetación secundaria a bosque denso.

Tabla 6. Porcentaje de uso del suelo en el año 2022. Vereda El Carmen

Ganadería extensiva, rastrojos, cultivos de subsistencia	6.72 %
Ganadería extensiva, rastrojo, bosque secundario, cultivos de subsistencia (yuca, plátano, maíz, cacao)	93.20 %

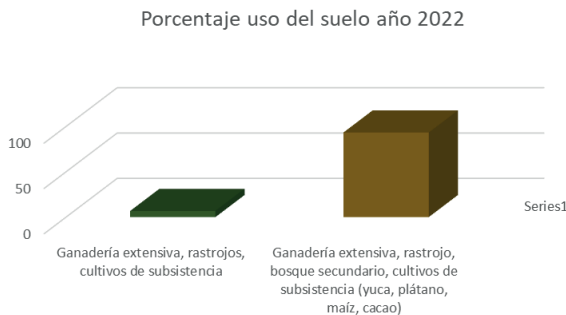


Figura 13. Clasificación en porcentaje de uso de suelo en el año 2022

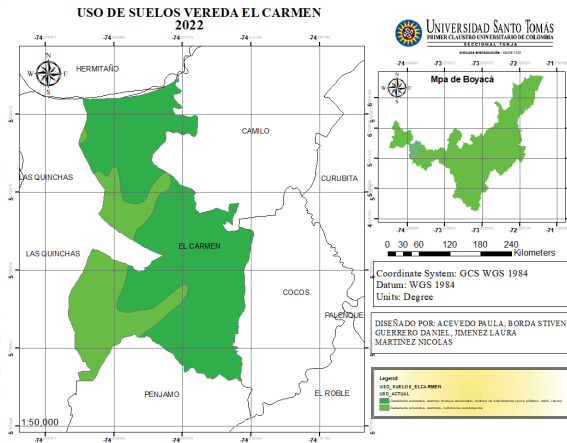


Figura 14. Uso del suelo, vereda El Carmen año 2022

En la Figura 14 se pudo determinar el cambio de las coberturas vegetales, con base en el uso del suelo en el transcurso de los años 2002, 2012 y 2022, donde se pudo determinar nuevos usos de suelos como lo son ganadería extensiva con un porcentaje 15.1 % y de rastrojo del 2.33 %. Por otra parte, estos usos determinados vienen combinados con usos como cultivos, bosque denso y cultivos de subsistencia como maíz, cacao, plátano y yuca.

4.3 Índice normalizado NDVI

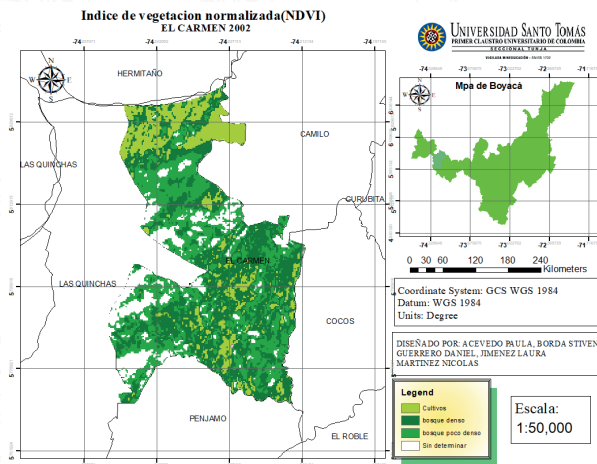


Figura 15. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) vereda El Carmen año 2002

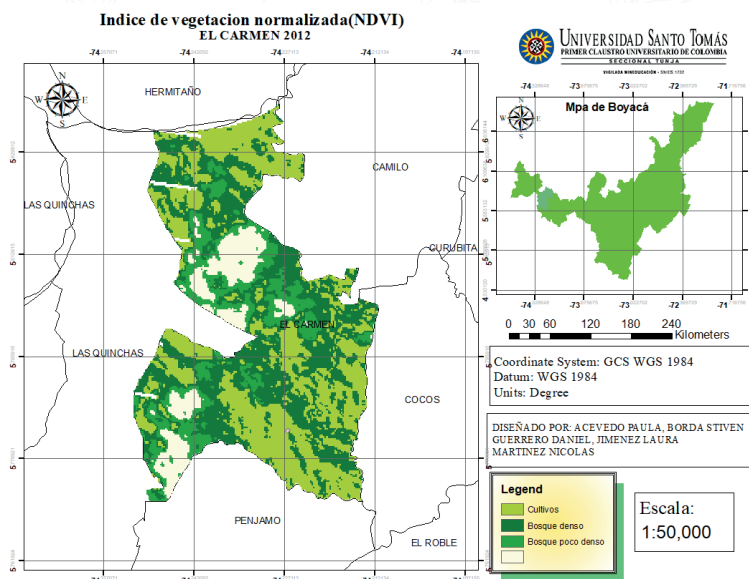


Figura 16. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) vereda El Carmen año 2012

Por último, con base en los mapas de Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), se pudo determinar que se presentó un aumento en los cultivos y coberturas vegetales en el periodo de tiempo 2002 a 2012 debido a que principalmente esta zona es de producción y conservación a nivel regional.

Teniendo en cuenta los análisis realizados en los respectivos años, se logró determinar evidenciar un cambio positivo con respecto a los índices de vegetación.

Tabla 7. Comparación de los índices de vegetación en los años de 2002, 2012, 2022

Año	Índice de vegetación
2002	Alta presencia de pastos con espacios naturales y bosque denso, además de vegetación secundaria o en transición. Bajos Porcentajes de mosaicos de cultivos y pastos limpios

2012	Presencia dominante de bosque denso, bajo porcentaje en mosaico de cultivos, pastos limpios y vegetación secundaria
2022	Por condiciones climatológicas y meteorológicas, no fue posible adquirir la información pertinente para el análisis completo para este año, debido a la alta nubosidad que presentó la zona en ese periodo de tiempo que imposibilitó la extracción adecuada de las imágenes satelitales

Entre los años 2002 a 2012 se evidencia una disminución en las coberturas correspondientes a los pastos limpios y lo relacionado con cultivos en el área. Por el contrario, de manera positiva incrementa el porcentaje de Bosque denso, cual puede determinar que el manejo y protección del parque Natural Regional Serranía de las Quinchas declarado mediante el acuerdo 008 de 2008, fue determinante para obtener los resultados de mejora en la recuperación del ecosistema presente, dato positivo representado en el aumento de cobertura nativa la cual es el bosque denso. Sin embargo, cabe aclarar que, independientemente de la declaración de zona de conservación, varias de las actividades de cultivos y ganadería fueron controladas, más no eliminadas. Por el contrario, según el plan de manejo ambiental, se propone un fomento a la sostenibilidad de las actividades productivas presentes teniendo en cuenta los valores de protección y conservación del ecosistema, añadiendo a las transformaciones económicas como el impulso a las economía circular, emprendimientos sostenibles y bioturismo en el parque. Por otra parte, para el año 2022 como lo antes mencionado en la tabla 4, no fue posible la extracción de las imágenes satelitales de la zona, lo cual impidió realizar el análisis (NDVI) para el año 2022, debido a las condiciones climáticas y meteorológicas como los totales porcentajes de nubosidad que se presentaron en la localización a estudiar. Por lo tanto, la única información que se logró recopilar fue el uso intensivo de suelo hacia las actividades ganaderas de tipo extensivas, y de tipo agrícolas con presencia de cultivos de yuca, plátano, maíz y cacao.

5. CONCLUSIONES

A partir de lo establecido en el estudio sobre los cambios de coberturas y uso del suelo en la Serranía de las Quinchas, se identificó cómo las actividades humanas están afectando el medio ambiente y las comunidades locales, debido a las consecuencias negativas en la

pérdida de la cobertura boscosa que afecta no solo la biodiversidad y los servicios ecosistémicos asociados, sino que también contribuye a la disminución de la calidad del suelo y del recurso hídrico. Asimismo, con la investigación multitemporal durante los años 2002, 2012 y 2018 por medio de técnicas como Corine Land Cover y el índice de vegetación normalizada, se obtuvo información precisa y cuantitativa sobre la dinámica de los cambios en el territorio, identificando patrones y tendencias a lo largo del tiempo, en donde se estableció que la modificación realizada en el suelo tiene tendencia hacia ocupaciones de pastos, tipos de bosques, cultivos y vegetación secundaria, por lo que es necesario involucrar a la comunidad del área de estudio, fortaleciendo las actividades económicas sostenibles, como el bioturismo, y fomentando la protección de la Serranía de las Quinchas.

Por otra parte, se determinó a partir del análisis multitemporal los tipos de uso de suelo en la vereda El Carmen en el municipio de Otanche, Boyacá, en los años 2002, 2012 y 2022. Por otra parte, en cada año se pudo identificar el porcentaje de uso de suelo donde se pudo puntualizar el cambio de las coberturas vegetales a partir de imágenes satelitales. Se logró analizar la disminución de pastizales, y el aumento de cultivos y coberturas vegetales (Bosque denso), los cuales para el año 2012 tuvieron un aumento del 57,3 % con respecto al año posterior de análisis. Esto asumido al acuerdo 008 de 2008 donde se declara por Corpoboyacá como Parque Natural regional. Así, se implementaron los planes de manejo ambiental, protección y manejo de la zona; con esto se logró controlar las actividades económicas que se llevaban en la zona, lo que generaba los impactos negativos en la zona, donde los análisis de los (NDVI) permitieron analizar la tendencia de transformación de los usos de suelo.

6. REFERENCIAS

Abaunza, L., Fernández, D., Barbosa, M., Cepeda, J., y Sánchez, R. (2015). *Metodología de caracterización territorial diferenciada Macroproyecto Modelo alternativo de Inclusión e Innovación Productiva de la Dirección de investigaciones de la*. Campus Virtual UPC. <https://campusvirtual.unipiloto.edu.co/wp-content/uploads/2015/12/>

Entregable-3-Cartilla-Metodologia-para-la-caracterizacion-diferenciada-de-territorios.pdf

- Alvarez, C., Manrique, S., Vela, M., Cardozo, J., Callo, J., Bravo, P., Castañeda, I., y Alvarez, J. (2021). *Composición florística, estructura y diversidad arbórea de un bosque amazónico en Perú*. SciELO Perú. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172021000100073
- Clough, B. J., Domke, G. M., MacFarlane, D. W., Radtke, P. J., Russell, M. B., y Weiskittel, A. R. (2018). Testing a new component ratio method for predicting total tree aboveground and component biomass for widespread pine and hardwood species of eastern US. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 243(5), 219. <https://doi.org/10.1093/FORESTRY/CPY016>
- Díaz, D. (2020). El cambio climático y la respuesta de las grandes potencias. el caso de Estados Unidos y China - ProQuest. *ProQuest*, 33, 121-142. <https://www.proquest.com/openview/eb487862db745035b3262ab31e7df2d8/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2035747>
- FAO. (2016). *The State of Food and Agriculture 2016 (SOFA)*. Food and Agriculture Organization. <https://www.fao.org/3/i6132e/i6132e.pdf>
- Flórez, G., Rincón, A., Cardona, P., y Alzate, A. (2017, febrero 19). *Multitemporal analysis of the vegetation cover in the area of influence of the mines located in the high part of Maltería in Ma*. Dialnet. <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v84n201/0012-7353-dyna-84-201-00095.pdf>
- González, M., y Fernando, H. (2015, enero 28). *Análisis multiespectral mediante imágenes Landsat para identificación de zonas degradadas en el área circundante a la Laguna de Tota departamento de Boyacá*. RI UMNG Principal. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/13524>
- Hernández, J., Posada, M., Tamarit, C., Ángeles, G., Hernández, A., Peduzzi, A., y Carrero, O. (2017). *Biomasa aérea y factores de*

- expansión en plantaciones forestales comerciales de Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. SciELO México. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-3195201700800921
- Hernández, L. (2016, febrero). *Manual de campo para el establecimiento y remediación de parcelas permanentes de muestreo forestal*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/314306430_Manual_de_campo_para_el_establecimiento_y_remedicion_de_parcelas_permanentes_de_muestreo_forestal
- Londoño, V. (2022). *Composición y estructura vegetal de una parcela de vegetación en un relicto de bosque seco tropical en el Caribe colombiano*. SciELO Colombia. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-53762022000100402
- MINAMBIENTE (2018). *Propuesta de ampliación del Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete*. <https://fcds.org.co/wp-content/uploads/2021/01/documento-sintesis-chiibiquete.pdf>
- Perea, M. (2018, noviembre 23). *Estimación de Biomasa Aérea y Carbono con Teledetección en Bosques Alto-Andinos de Boyacá, Colombia. Estudio de caso: Santuario de Fauna y Flora “Iguaque”*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/329153698_Estimacion_de_Biomasa_Aerea_y_Carbono_con_Teledeteccion_en_Bosques_Alto-Andinos_de_Boyaca_Colombia_Estudio_de_caso_Santuario_de_Fauna_y_Flora_Iguaque
- Poorter, H., Jagodzinski, A. M., Ruiz-Peinado, R., Kuyah, S., Luo, Y., Oleksyn, J., Usoltsev, V. A., Buckley, T. N., Reich, P. B., y Sack, L. (2015). How does biomass distribution change with size and differ among species? An analysis for 1200 plant species from five continents. *New Phytologist*, 208(3), 736–749. <https://doi.org/10.1111/NPH.13571>
- Romo, J. (2018, junio). *Programas Nacionales Evaluación final COLOMBIA*. Programa ONU-REDD. <https://mptf.undp.org/>

sites/default/files/documents/30000/evaluacio_n_onu_redd_colombia_final.pdf

Santos, F. D., Ferreira, P. L., y Pedersen, J. S. T. (2022). The Climate Change Challenge: A Review of the Barriers and Solutions to Deliver a Paris Solution. *Climate*, 10(5), 75. <https://doi.org/10.3390/CL10050075>

Spracklen, D., y Righelato, R. (2016, marzo 15). *Almacenamiento de carbono y secuestro de bosques montanos que vuelven a crecer en el sur de Ecuador*. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112716000025?via%3Dihub>

Tovar, A., Lizarazo, I., y Rodríguez, N. (2019, April 30). *Estimación de biomasa aérea de Eucalyptus grandis y Pinus spp. usando imágenes Sentinel1A y Sentinel2A en Colombia*. SciELO Colombia. <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v23n1/0120-0739-cofo-23-01-79.pdf>

Vergara, J. C., Maza, F. J., y Quesada, V. M. (2017). Vol. 39 (Nº 13) Año 2018. Revista ESPACIOS | Vol. 39 (Nº 13) Año 2018. <https://www.revistaespacios.com/a18v39n13/18391317.html>

Waring, B., Neumann, M., Prentice, I. C., Adams, M., Smith, P., y Siebert, M. (2020). Forests and Decarbonization – Roles of Natural and Planted Forests. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3, 58. <https://doi.org/10.3389/FFGC.2020.00058/BIBTEX>

Zambramo, L., Paula, P., y Paula, P. (2018, junio 15). *Análisis Multitemporal de los cambios de la vegetación, en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo como consecuencia del cambio climático*. SciELO Ecuador. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S1390-65422018000200125&script=sci_arttext

Zuluaga, L., y Castro, E. (2018). *Valoración de servicios ambientales por captura de CO₂ en un ecosistema de bosque seco tropical en el municipio de El Carmen de Bolívar, Colombia*. Redalyc. <https://www.redalyc.org/journal/3217/321764932001/html/>

ANEXO 1

Tabla 8. Datos grupo 1 en la parcela de la vereda El Carmen

No Parcela	A1	Diametro (cm)	Distancia (m)	Angulo (+)	Angulo (-)	Altura (m)	Densidad (g/cm ³)	Biomasa (Kg)
A	A1	12,41	1,5	1,13	0,75	4,62	0,46	24,0
A	A2	9,55	1,5	0,91	1,06	4,63	0,46	14,8
A	A3	19,42	3	1,36	0,40	15,39	0,705	252,8
A	A4	9,23	1,5	1,08	0,87	4,61	0,46	13,8
A	A5	20,37	3	1,27	0,66	12,16	0,6	191,0
A	A6	20,37	2	1,31	0,66	9,03	0,6	144,7
A	A7	23,55	2,5	1,17	0,75	8,22	0,6	173,9
A	A8	8,59	1,5	1,05	0,86	4,32	0,46	11,4
A	A9	11,46	1,5	1,31	0,70	6,86	0,46	29,9
A	A10	25,15	3	1,31	0,24	11,94	0,6	278,2
A	A11	28,33	1,5	1,29	0,96	7,37	0,46	173,0
A	A12	12,41	1,5	1,31	0,70	6,86	0,46	34,7
A	A13	34,06	1,5	1,36	0,52	7,92	0,46	260,8
A	A14	12,73	1,5	0,80	0,51	2,38	0,46	13,6
A	A15	32,15	1,5	1,45	0,52	13,08	0,6	478,7
A	A16	27,06	1,5	1,40	0,49	9,30	0,46	197,2
A	A17	11,46	1,5	1,50	0,09	21,58	0,705	129,7
A	A18	13,37	1,5	1,45	0,70	13,48	0,6	95,9
A	A19	8,91	1,5	1,40	0,09	8,64	0,6	29,8
A	A20	25,15	1,5	1,48	0,87	18,93	0,705	496,7
A	A21	20,69	1,5	0,35	1,05	3,14	0,46	43,5
A	A22	47,11	2	1,31	1,10	11,39	0,6	857,6
A	A23	16,87	1,5	1,40	0,93	10,50	0,6	117,2
A	A24	35,65	1,5	1,48	0,26	17,55	0,705	887,0
A	A25	18,46	1,5	1,48	0,49	17,94	0,705	265,6
A	A26	10,82	2,3	1,40	0,52	14,37	0,6	68,7
A	A27	28,01	2	1,31	0,87	9,85	0,46	221,8
A	A28	22,60	1,5	1,43	0,37	11,25	0,6	215,6
A	A29	11,14	1,5	1,36	0,91	8,98	0,6	46,7
A	A30	10,82	1,5	1,40	0,87	10,29	0,6	50,3
A	A31	23,24	2,5	1,43	0,44	18,95	0,705	429,2
A	A32	8,91	2,1	1,41	1,05	16,90	0,705	64,6
A	A33	14,96	2	1,31	1,01	10,66	0,6	95,1
A	A34	13,37	1,5	1,29	0,94	7,30	0,6	54,1
A	A35	15,92	1,5	1,50	0,52	22,32	0,705	246,8
A	A36	20,05	1,5	1,45	0,05	12,30	0,6	187,5
A	A37	24,83	2,1	1,45	0,37	17,91	0,705	460,6
A	A38	14,32	1,5	1,31	0,72	6,90	0,46	45,6
A	A39	17,19	1,5	1,48	0,52	18,01	0,705	233,3
A	A40	10,50	1,5	1,13	0,52	4,08	0,6	20,1
A	A41	38,83	2	1,22	0,84	7,72	0,46	324,9
A	A42	15,92	1,8	1,36	0,24	8,92	0,6	90,3
A	A43	33,42	1,5	1,48	1,05	19,74	0,705	877,8

Tabla 9. Datos grupo 2 en la parcela de la vereda El Carmen

No Parcela	A1	Diametro (cm)	Distancia (m)	Angulo (+)	Angulo (-)	Altura (m)	Densidad (g/cm ³)	Biomasa (Kg)
B	B1	15,92	1,83	1,08	0,72	5,03	0,46	41,4
B	B2	58,89	1,98	1,36	0,72	11,04	0,6	1262,4
B	B3	24,19	1,5	1,22	0,84	5,79	0,46	102,8
B	B4	26,10	2,04	1,13	0,93	7,08	0,46	143,0
B	B5	14,64	1,24	1,12	1,06	4,78	0,46	33,8
B	B6	14,64	1,89	1,36	1,03	12,04	0,6	102,3
B	B7	9,23	1,52	1,26	0,91	6,62	0,46	19,4
B	B8	18,46	2,27	1,40	1,01	16,51	0,705	245,7
B	B9	13,05	1,5	1,40	0,77	9,96	0,6	69,1
B	B10	14,01	1,82	1,36	0,73	10,20	0,6	80,7
B	B11	13,69	1,65	1,17	0,99	6,43	0,46	39,2
B	B12	8,59	1,68	1,29	0,79	7,54	0,46	19,1
B	B13	15,92	1,3	1,22	0,30	3,97	0,46	33,2
B	B14	14,64	1,6	1,27	0,79	6,83	0,46	47,1
B	B15	16,55	1,45	1,45	0,54	12,68	0,6	134,9
B	B16	14,64	2	0,86	0,89	4,77	0,46	33,7
B	B17	22,28	1,5	1,36	1,01	9,46	0,6	178,6
B	B18	26,74	1,94	1,26	0,89	8,37	0,6	223,8
B	B19	12,73	1,5	1,10	0,89	4,80	0,46	26,1
B	B20	56,02	1,6	1,54	0,65	47,02	0,705	5161,7
B	B21	14,64	1,4	1,54	0,49	40,84	0,705	371,0
B	B22	20,37	1	1,54	0,44	29,10	0,705	500,8
B	B23	27,69	2	1,26	0,82	8,30	0,6	237,2
B	B24	21,33	2	1,54	0,73	59,07	0,705	1055,1
B	B25	13,05	2,3	1,01	0,99	7,22	0,46	40,0
B	B26	14,32	2	1,43	0,49	15,29	0,705	142,6
B	B27	22,92	1,5	1,24	1,12	7,43	0,46	117,4
B	B28	13,05	2	1,22	1,01	8,70	0,6	60,9
B	B29	28,01	1,5	1,19	0,66	4,88	0,46	115,4
B	B30	9,23	1,5	1,10	0,89	4,80	0,46	14,3
B	B31	37,24	1,76	1,24	0,86	7,14	0,6	357,9
B	B32	44,56	2	1,52	0,91	40,72	0,705	2946,5
B	B33	31,19	1,5	1,54	0,52	43,82	0,705	1622,7
B	B34	35,01	1,5	1,43	0,79	12,17	0,705	610,0
B	B35	11,46	1,5	1,26	0,44	5,32	0,46	23,6
B	B36	33,42	1,5	1,29	0,84	6,90	0,46	221,2
B	B37	11,14	1,5	1,15	0,91	5,29	0,46	22,3
B	B38	25,15	1,5	1,36	1,15	10,43	0,6	245,1
B	B39	38,20	2	1,36	0,79	11,41	0,6	581,1
B	B40	25,46	1,5	1,43	0,44	11,37	0,6	272,1
B	B41	13,37	1,5	1,19	0,96	5,85	0,46	34,4
B	B42	22,60	1,5	1,48	0,70	18,40	0,705	396,5
B	B43	26,10	1,5	1,24	0,65	5,49	0,46	112,8
B	B44	30,24	1,5	1,48	0,51	17,98	0,705	667,5
B	B45	12,41	1,5	1,26	1,06	7,32	0,46	36,9
B	B46	10,50	1,5	1,22	0,42	4,79	0,46	18,2
B	B47	26,10	1,5	1,47	0,47	15,04	0,705	429,5

Tabla 10. Datos grupo 3 en la parcela de la vereda El Carmen

No Parcela	A1	Díametro (cm)	Altura (m)	Densidad (g/cm ³)	Biomasa (Kg)
D	D1	18,14	19	0,705	271,2
D	D2	10,19	4,5	0,46	16,2
D	D3	8,28	7	0,46	16,6
D	D4	31,83	16	0,705	658,9
D	D5	8,91	9	0,6	30,9
D	D6	13,37	13	0,6	92,7
D	D7	14,32	16	0,705	148,7
D	D8	11,46	11	0,6	59,5
D	D9	26,42	17	0,705	492,6
D	D10	35,33	23	0,705	1122,5
D	D11	42,97	25	0,705	1747,4
D	D12	12,73	15	0,705	112,4
D	D13	16,23	12	0,6	123,6
D	D14	14,01	17	0,705	150,9
D	D15	10,82	8	0,6	39,8
D	D16	8,59	11	0,6	34,8
D	D17	8,28	9	0,6	26,9
D	D18	19,10	18	0,705	283,8
D	D19	57,30	23	0,705	2763,9
D	D20	33,10	24	0,705	1034,3
D	D21	21,65	17	0,705	339,7
D	D22	10,82	12	0,6	58,0
D	D23	9,87	4	0,46	13,7
D	D24	9,55	20	0,705	86,0
D	D25	31,19	22	0,705	853,8
D	D26	22,28	20	0,705	417,2
D	D27	18,14	19	0,705	271,2
D	D28	10,82	5	0,46	20,0
D	D29	17,83	14	0,6	169,9
D	D30	63,98	26	0,705	3806,0
D	D31	12,10	16	0,705	108,5
D	D32	13,05	17	0,705	132,3
D	D33	11,78	19	0,705	121,2
D	D34	8,28	16	0,705	53,5
D	D35	10,50	9	0,6	42,0
D	D36	29,92	21	0,705	756,4
D	D37	22,28	22	0,705	456,0
D	D38	22,92	25	0,705	541,4
D	D39	36,92	23	0,705	1218,5
D	D40	10,82	16	0,705	88,2
D	D41	44,56	24	0,705	1800,1
D	D42	18,14	17	0,705	244,5
D	D43	31,83	24	0,705	961,4
D	D44	14,96	19	0,705	189,3
D	D45	21,33	18	0,705	348,6
D	D46	11,78	19	0,705	121,2
D	D47	13,69	17	0,705	144,6
D	D48	8,59	12	0,6	37,8
D	D49	64,62	26	0,705	3876,9
D	D50	32,47	21	0,705	880,8
D	D51	11,14	12	0,6	61,3
D	D52	10,19	16	0,705	78,8



UNIVERSIDAD
SANTO TOMÁS
— TUNJA —

VIGILADA MINEDUCACIÓN - SNIES 1732

working paper